

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-196113

(43)Date of publication of application : 21.07.1999

(51)Int.Cl.

H04L 12/28

H04Q 3/00

(21)Application number : 10-289377

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 12.10.1998

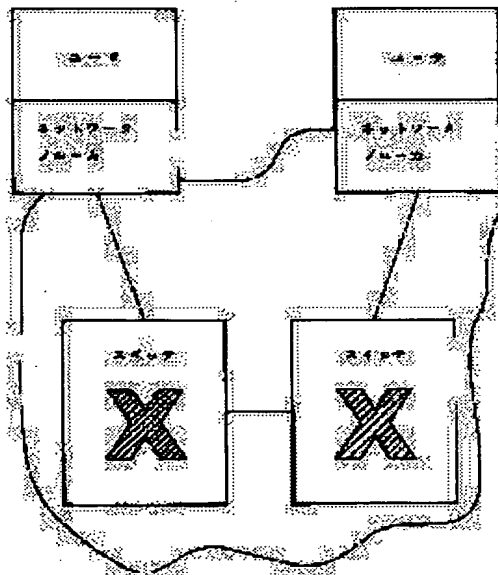
(72)Inventor : MAXIMILIAN OTTO
DANIEL REININGER
ERIN FURUPU

(30)Priority

Priority number : 97 971127 Priority date : 20.11.1997 Priority country : US

(54) NETWORK CONTROL SYSTEM FOR PERFORMING FLOW CONTROL BASED ON MICROECONOMICS, ITS METHOD AND RECORDING MEDIUM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a distributed flow control technique based on microeconomics.**SOLUTION:** This system is constituted of the three parts of a switch, a network broker and a user. Among them, the switch provides flow control and originally performs pricing based on the demand of the resource to the resource so as to provide high resource using rate. The network broker is provided on the entrance of a network and functions as an agent relating to the user by monitoring a budget, a price and a request. The network broker uses the information and purchases the resource so as to maximize the quality of the service of the user. The approach is provided with merits in the points of distributing control, minimizing signal transmission, distributing Pareto-optimal resources, stabilizing the price and providing a high network using rate.**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination] 12.10.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 13.03.2001

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J.P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-196113

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月21日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F.I

H 0 4 L 12/28

H 0 4 L 11/20

G

H 0 4 Q 3/00

H 0 4 Q 3/00

審査請求 有 請求項の数48 OL (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願平10-289377

(22) 出願日 平成10年(1998)10月12日

(31) 優先権主張番号 08/971127

(32) 優先日 1997年11月20日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 マクシミリアン オトー

アメリカ合衆国, ニュージャージー

08540, プリンストン, 4 インディペン

デンス ウエイ, エヌ・イー・シー・ユ

ー・エス・エー・インク内

(74) 代理人 弁理士 後藤 洋介 (外1名)

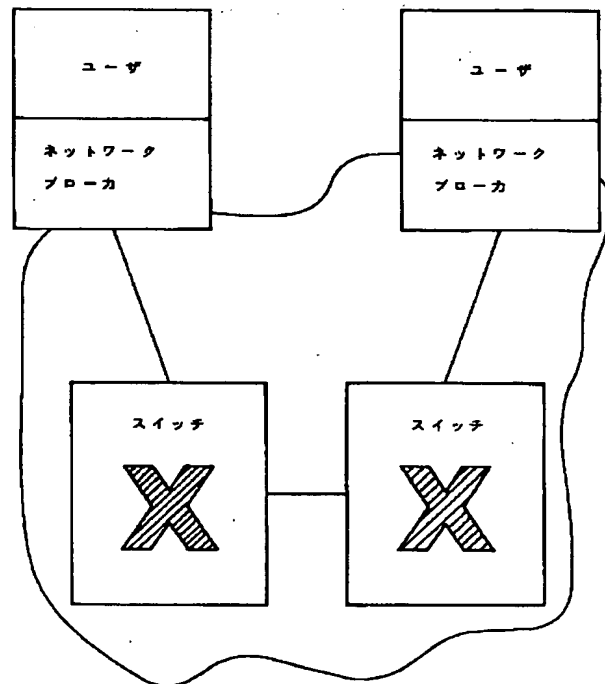
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ミクロ経済学に基いてフロー制御を行うネットワーク制御システム、方法、及び記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 本発明の課題は、ミクロ経済学に基づく分散されたフロー制御技法を提供することにある。

【解決手段】 本発明は、スイッチ、ネットワーク・ブローカ、及びユーザの3つの部分によって構成される。このうち、スイッチは、フロー制御を提供し、高い資源使用率を提供するために、その資源に対して、その資源の需要に基づくプライシングを独自に行う。ネットワーク・ブローカはネットワークの入り口に設けられ、予算、価格、及び要求を監視することにより、ユーザに関するエージェントとして機能する。ネットワーク・ブローカは、これらの情報を使用して、ユーザのサービスの質を最大化するように資源を購入する。このアプローチは、制御の分散化、信号送信の最小化、Pareto-optimal 資源分散、価格の安定化、及び高いネットワーク使用率を提供するという点で利点を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ユーザ装置を接続するスイッチを含むネットワークに使用されるフロー制御方法において、複数のネットワーク・ブローカ装置を備え、各ネットワーク・ブローカ装置が、第1のユーザ装置に対応する第1のネットワーク・ブローカ装置、及び第2のユーザ装置に対応する第2のネットワーク・ブローカ装置の如く、複数のユーザ装置のうちの各ユーザ装置に対応し、前記第1のユーザ装置に関するQoSプロファイルを前記第1のネットワーク・ブローカ装置に供給するステップと、

前記第1のユーザ装置から第2のユーザ装置への経路であって、第1のスイッチとして定義されたスイッチを含む経路の経路情報を前記第1のネットワーク・ブローカ装置に供給するステップと、

前記第1のユーザ装置から前記第1のネットワーク・ブローカ装置に、現在所望する帯域幅の値を供給するステップと、

前記第1のスイッチから前記第1のネットワーク・ブローカ装置に現在の各価格見積情報を送信するステップと、

前記第1のネットワーク・ブローカ装置によって、前記第1のユーザ装置が使用する各資源に関する予算、前記第1のユーザ装置の前記QoSプロファイル、前記第1のユーザ装置が現在所望する前記帯域幅の値、及び前記第1のスイッチの現在の前記価格見積情報に基づいて、資源使用速度を選択し、選択された資源使用速度を定めるステップと、

前記第1のユーザ装置から前記第2のユーザ装置に、前記選択された資源使用速度で転送を行うステップとを備えることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項2】 請求項1において、前記第1のスイッチがさらに、更新された価格見積情報を、前記第1のスイッチにおける需要の変化に基づくタイミングで送信することを特徴とするフロー制御方法。

【請求項3】 請求項2において、前記更新された価格見積情報が、

$$p_{i,j}^1 = p_{i,j}^0 + c \cdot ((bw_{i,j}^1 - \alpha \cdot BW_{i,j}^1) / (\alpha \cdot BW_{i,j}^1))$$

で定義され、ここで、 $p_{i,j}^1$ は更新された価格見積情報、 $p_{i,j}^0$ は前記スイッチにおける帯域幅の現在価格、 $BW_{i,j}^1$ は前記スイッチの帯域幅容量、 $bw_{i,j}^1$ は前記スイッチに入力されるトラフィックの合計、 c 及び α は定数であることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項4】 請求項1において、前記経路情報を与えるステップにおける経路は、さらに、前記第1のユーザ装置から第2のユーザ装置への所定の前記経路のほか

に、第2のスイッチとして定義された前記スイッチのうち別の1つを含んでおり、

前記第1のネットワーク・ブローカ装置による前記資源使用速度の前記選択が、前記第2のスイッチにおける現在の各価格見積情報にも基づいて行われることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項5】 請求項4において、現在の各価格見積情報を送信する前記ステップがさらに、自身の現在の各価格見積情報を前記第1のネットワーク・ブローカ装置に個別に送信する前記第2のスイッチを備えることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項6】 請求項4において、前記現在の各価格見積情報を送信する前記ステップがさらに、前記第2のスイッチから、自身の現在の各価格見積情報を前記第1のスイッチに送信し、前記第1のスイッチは、前記第1のネットワーク・ブローカ装置に送信される前記第1のスイッチの前記各価格見積情報中に、前記第2のスイッチによって送信された前記現在の各価格見積情報を含めることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項7】 請求項1において、前記経路情報を供給するステップは、さらに、前記第1のユーザ装置から前記第2のユーザ装置への別の経路に関連する情報を含み、

前記別の経路は、第2のスイッチとして定義された前記スイッチのうち別の1つを含み、前記第1のスイッチを含む前記経路と、前記第2のスイッチを含む前記経路とは、複数のとりうる経路を規定しており、前記第1のネットワーク・ブローカ装置による前記資源使用速度の選択は、前記第2のスイッチの現在の各価格見積情報にも基づいて行われ、

前記第1のネットワーク・ブローカ装置が、前記複数のとりうる経路に沿った前記スイッチの現在の前記価格見積情報の比較に基づいて、前記複数のとりうる経路から1つを選択することを特徴とするフロー制御方法。

【請求項8】 請求項1において、前記資源使用速度を選択するステップが、

前記第1のネットワーク・ブローカ装置において、前記第1のユーザ装置が前記第2のユーザ装置に転送を行うことに応答して現在の価格見積情報がどのように変化するかを予測するプライシング（価格）予測を行うステップと、

前記プライシング予測にも基づいて、選択された前記資源使用速度を選択するステップを有することを特徴とするフロー制御方法。

【請求項9】 スイッチと、各ネットワークブローカ装置によって当該スイッチにインタフェースされるユーザ装置とを備えたコンピュータネットワークであって、第1のユーザ装置に対応する第1のネットワーク・ブローカ装置、及び第2のユーザ装置に対応する第2のネットワーク・ブローカ装置を含み、

前記第1のネットワークブローカ装置は、第1のユーザ装置に関して、QoSプロファイル、現在所望する帯域

幅の値、資源に関する予算、及び第1のスイッチとして定義された前記スイッチのうちの1つを含む、前記第1のユーザ装置から前記第2のユーザ装置への経路を含んだ前記スイッチに関連する経路情報を有しており、

前記第1のスイッチは、現在の各価格見積情報を前記第1のネットワーク・ブローカ装置に送信し、

前記第1のネットワーク・ブローカ装置は、前記第1のユーザ装置のそれぞれの前記資源に関する予算、前記第1のユーザ装置の前記QoSプロファイル、前記第1のユーザ装置が現在所望する前記帯域幅の値、及び前記第1のスイッチの現在の前記価格見積情報に基づいて、選択された資源使用速度を選択し、

前記第1のユーザ装置は、前記第2のユーザ装置に対して前記選択された資源使用速度で転送を行うことを特徴とするコンピュータ・ネットワーク。

【請求項10】 請求項9において、前記第1のスイッチがさらに、前記第1のスイッチにおける需要の変化に基づくタイミングで、更新された価格見積情報を送信することを特徴とするコンピュータ・ネットワーク。

【請求項11】 請求項10において、前記更新された価格見積情報が、

$$p_{i,t+1}^1 = p_{i,t}^1 + c \cdot ((bw_{i,t+1}^1 - \alpha \cdot BW_{i,t+1}^1) / (\alpha \cdot BW_{i,t+1}^1))$$

で定義され、ここで、 $p_{i,t+1}^1$ は更新された価格見積情報、 $p_{i,t}^1$ は前記スイッチにおける帯域幅の現在価格、 $BW_{i,t+1}^1$ は前記スイッチの帯域幅容量、 $bw_{i,t+1}^1$ は前記スイッチに入力されるトラフィックの合計、 c 及び α は定数であることを特徴とするコンピュータ・ネットワーク。

【請求項12】 請求項9において、前記経路情報は、前記第1のユーザ装置から第2のユーザ装置への所定の前記経路のほかに、

第2のスイッチとして定義された前記スイッチのうちの別の1つを含んでおり、

前記選択された資源使用速度が、前記第2のスイッチにおける現在の各価格見積情報にも基づいて選択されることを特徴とするコンピュータ・ネットワーク。

【請求項13】 請求項12において、前記第2のスイッチが、自身の現在の各価格見積情報を前記第1のネットワーク・ブローカ装置に個別に送信することを特徴とするコンピュータ・ネットワーク。

【請求項14】 請求項12において、前記第2のスイッチが、自身の現在の各価格見積情報を前記第1のスイッチに送信し、前記第1のスイッチが、前記各価格見積情報中に、前記第2のスイッチによって前記第1のスイッチに送信された現在の前記各価格見積情報に含めることを特徴とするコンピュータ・ネットワーク。

【請求項15】 請求項9において、前記スイッチに関連する前記経路情報が、前記第1のユーザ装置から前記第2のユーザ装置への別の経路に関連する情報を含み、

前記別の経路は第2のスイッチとして定義された前記スイッチのうちの別の1つを含み、前記第1のスイッチを含む前記経路と、前記第2のスイッチを含む前記経路とは、複数のとりうる経路を規定しており、

前記第1のネットワーク・ブローカ装置が、前記第2のスイッチの現在の各価格見積情報にも基づいて、選択された前記資源使用速度を選択し、

前記第1のネットワーク・ブローカ装置が、前記複数のとりうる経路に沿った前記スイッチの現在の前記価格見積情報の比較に基づいて、前記複数のとりうる経路から1つを選択することを特徴とするコンピュータ・ネットワーク。

【請求項16】 請求項9において、前記第1のネットワーク・ブローカ装置が、前記第1のユーザ装置が前記第2のユーザ装置に転送を行うことに応答して現在の前記価格見積情報がどのように変化するかを予測するブラising予測を行い、

前記第1のネットワーク・ブローカ装置が、前記ブラising予測にも基づいて、選択された前記資源使用速度を選択することを特徴とするコンピュータ・ネットワーク。

【請求項17】 ネットワーク・インタフェース、制御システム、及び帯域幅監視手段を有するコンピュータネットワークのスイッチングノードにおいて、

前記制御システムは、前記ネットワーク・インタフェースを介してコンピュータ・ネットワーク上のネットワーク・ブローカ装置に現在の価格見積情報を送信し、

前記現在の価格見積情報は、前記制御システムによって更新され、前記帯域幅監視手段によって判定されたスイッチの需要に基づくタイミングで、更新された価格見積情報を提供することを特徴とするコンピュータ・ネットワークのスイッチング・ノード。

【請求項18】 請求項17において、前記更新された価格見積情報が、

$$p_{i,t+1}^1 = p_{i,t}^1 + c \cdot ((bw_{i,t+1}^1 - \alpha \cdot BW_{i,t+1}^1) / (\alpha \cdot BW_{i,t+1}^1))$$

で定義され、ここで、 $p_{i,t+1}^1$ は更新された価格見積情報、 $p_{i,t}^1$ は前記スイッチにおける帯域幅の現在価格、 $BW_{i,t+1}^1$ は前記スイッチの帯域幅容量、 $bw_{i,t+1}^1$ は前記スイッチに入力されるトラフィックの合計、 c 及び α は定数であることを特徴とするコンピュータ・ネットワークのスイッチング・ノード。

【請求項19】 コンピュータ読み取り可能な命令と、前記コンピュータ読み取り可能な命令を伝達するコンピュータ読み取り可能な媒体を含むコンピュータ・プログラム製品であって、第1のユーザ装置及び第2のユーザ装置を含むユーザ装置を接続するスイッチを有するネットワークにおいて、前記命令は、コンピュータを以下のステップにしたがって動作させるように、構成されていることを特徴とするコンピュータ・プログラム製品、

前記第1のユーザ装置のQoSプロファイルにアクセスするステップと、

第1のスイッチを定義する前記スイッチのうち1つを含む、前記第1のユーザ装置から前記第2のユーザ装置への経路に関連する経路情報にアクセスするステップと、前記第1のユーザ装置から現在所望する帯域幅の値を示すものを受信するステップと、

前記第1のスイッチから現在の価格見積情報を受信するステップと、

前記第1のユーザ装置の各資源に関する予算、前記第1のユーザ装置のQoSプロファイル、前記第1のユーザ装置が現在所望する帯域幅の値、及び前記第1のスイッチの前記現在の価格見積情報に基づいて、選択された資源使用速度を定義するように資源使用速度を選択するステップと、

前記第1のユーザ装置に前記選択された資源使用速度で前記第2のユーザ装置に転送を行うよう指示するステップ。

【請求項20】 請求項19において、前記命令は、前記コンピュータに前記第1のスイッチからの更新された価格見積情報を処理させることを特徴とするコンピュータ・プログラム製品。

【請求項21】 請求項19において、前記命令はさらに、前記コンピュータを、

前記第1のユーザ装置と前記第2のユーザ装置との間の経路上にある第2のスイッチから、前記第2のスイッチから送信された現在の各価格見積情報を受信するステップと、

前記第2のスイッチから送信された現在の各価格見積情報にも基づいて、前記選択された資源使用速度の選択を行うステップに従って動作させることを特徴とするコンピュータ・プログラム製品。

【請求項22】 請求項19において、前記命令はさらに、前記コンピュータを、

前記第1のユーザ装置と前記第2のユーザ装置の間でとりうる複数の経路から、前記複数のとりうる経路のそれぞれに位置する各スイッチからの現在の前記各価格見積情報に基づいて経路を選択するステップに従って動作させることを特徴とするコンピュータ・プログラム製品。

【請求項23】 請求項19において、前記命令はさらに、前記コンピュータを、

前記第1のユーザ装置が前記第2のユーザ装置に転送を行ったことに応答して、前記現在の価格見積情報がどのように変化するかを予測するためにブラising予測を行うステップと、

前記ブラising予測にも基づいて、選択された資源使用速度を選択するステップに従って動作させることを特徴とするコンピュータ・プログラム製品。

【請求項24】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置と接続するためのネットワーク、及び前記ネットワークを中継

し、前記ユーザ装置に必要なサービスを提供するための資源を有するスイッチを含むフロー制御システムであって、前記システムが、

前記ユーザ装置と前記ネットワークの間に配置されたネットワーク・ブローカ装置を備え、

前記スイッチのそれぞれが、そのスイッチに関する価格情報を独立して計算し、

前記ネットワーク・ブローカ装置が、

前記各スイッチから前記価格情報を受信し、

前記ユーザ装置から、前記ユーザ装置により指定された前記サービスの質と予算に関する条件を受信し、

所定のイベントに応答して、各スイッチの資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記価格情報と前記条件を用いて、前記ユーザ装置から前記資源までの経路を選択し、前記サービスの質を最適化することを特徴とするフロー制御システム。

【請求項25】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置がサービスの提供を受けるために使用する資源を接続するネットワークを含むフロー制御システムにおいて、前記ユーザ装置と前記ネットワークの間に配置されたネットワーク・ブローカ装置であって、前記ネットワーク・ブローカ装置が、

前記資源に関する価格情報を受信し、

前記ユーザ装置から、前記ユーザ装置により指定された前記サービスの質と予算に関する条件を受信し、

所定のイベントに応答して、前記資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記価格情報と前記条件を用いて、前記ユーザ装置から前記資源までの経路を選択し、前記サービスの質を最適化することを特徴とするネットワーク・ブローカ装置。

【請求項26】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置と接続するためのネットワークを含むフロー制御システムにおいて、前記ネットワークを中継し、前記ユーザ装置に必要なサービスを提供するための資源を有するスイッチであって、前記スイッチがそれぞれ、そのスイッチに関する価格情報を独立して計算し、

各スイッチの資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記サービスの質を最適化するために、前記価格情報が使用されることを特徴とするスイッチ。

【請求項27】 請求項24において、前記各スイッチが、前記スイッチの前記資源に対する需要の変化に基づくタイミングで前記価格情報を更新し、前記ネットワーク・ブローカ装置に送信することを特徴とするフロー制御システム。

【請求項28】 請求項27において、前記更新された価格情報が、前記スイッチ毎に

$$p_{i,j}^t = p_{i,j}^0 + c \cdot ((bw_{i,j}^t - \alpha \cdot BW_{i,j}^0))$$

$$/ (\alpha \cdot BW_{i, \dots, i}^i)$$

で定義され、ここで、 $p_{i, \dots, i}^i$ はスイッチ*i*において更新された価格情報、 $p_{i, \dots, i}^i$ は前記スイッチ*i*における帯域幅の現在価格、 $BW_{i, \dots, i}^i$ は前記スイッチ*i*の帯域幅容量、 $bw_{i, \dots, i}^i$ は前記スイッチ*i*に入力されるトラフィックの合計、 c 及び α は定数であることを特徴とするフロー制御システム。

【請求項29】 請求項26において、前記各スイッチが、前記スイッチの前記資源に対する需要の変化に基づくタイミングで前記価格情報を更新することを特徴とするスイッチ。

【請求項30】 請求項29において、前記更新された価格情報が、前記スイッチ毎に

$$p_{i, \dots, i}^i = p_{i, \dots, i}^i + c \cdot (bw_{i, \dots, i}^i - \alpha \cdot BW_{i, \dots, i}^i) / (\alpha \cdot BW_{i, \dots, i}^i)$$

で定義され、ここで、 $p_{i, \dots, i}^i$ はスイッチ*i*において更新された価格情報、 $p_{i, \dots, i}^i$ は前記スイッチ*i*における帯域幅の現在価格、 $BW_{i, \dots, i}^i$ は前記スイッチ*i*の帯域幅容量、 $bw_{i, \dots, i}^i$ は前記スイッチ*i*に入力されるトラフィックの合計、 c 及び α は定数であることを特徴とするス

【請求項31】 請求項24において、前記ネットワーク・ブローカ装置が前記ユーザ装置から受信する情報が、前記ユーザ装置のQoSプロファイル、前記ユーザ装置が前記サービスの提供において所望する帯域幅、及び前記ユーザ装置が前記資源に関して指定する予算に関する情報を含み、

前記ネットワーク・ブローカ装置が前記サービスの質を最適化するために、前記資源の使用速度を調整することを特徴とするフロー制御システム。

【請求項32】 請求項31において、前記ネットワーク・ブローカ装置が、前記ユーザ装置の資源の使用にตอบสนองして前記価格情報がどのように変化するかを予測するプライシング予測を行い、

前記資源の使用速度の調整が、前記プライシング予測に基づいて行われることを特徴とするフロー制御システム。

【請求項33】 請求項25において、前記ネットワーク・ブローカ装置が前記ユーザ装置から受信する情報が、前記ユーザ装置のQoSプロファイル、前記ユーザ装置が前記サービスの提供において所望する帯域幅、及び前記ユーザ装置が前記資源に関して指定する予算に関する情報を含み、

前記ネットワーク・ブローカ装置が前記サービスの質を最適化するために、前記資源の使用速度を調整することを特徴とするネットワーク・ブローカ装置。

【請求項34】 請求項33において、前記ネットワーク・ブローカ装置が、前記ユーザ装置の資源の使用にตอบสนองして前記価格情報がどのように変化するかを予測するプライシング予測を行い、

前記資源の使用速度の調整が、前記プライシング予測に基づいて行われることを特徴とするネットワーク・ブローカ装置。

【請求項35】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置と接続するためのネットワーク、及び前記ネットワークを中継し、前記ユーザ装置に必要なサービスを提供するための資源を有するスイッチにより実現されるフロー制御方法であって、

前記スイッチのそれぞれにおいて、そのスイッチに関する価格情報を独立して計算するステップと、

前記ユーザ装置と前記ネットワークの間に配置されたネットワーク・ブローカ装置において、

前記各スイッチから前記価格情報を受信するステップと、

前記ユーザ装置から、前記ユーザ装置が指定する前記サービスの質と予算に関する条件を受信するステップと、所定のイベントにตอบสนองして、各スイッチの資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記価格情報と前記条件を用いて、前記ユーザ装置から前記資源までの経路を選択し、前記サービスの質を最適化するステップとを含むことを特徴とするフロー制御方法。

【請求項36】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置がサービスの提供を受けるために使用する資源を接続するネットワークにおいて行われるフロー制御方法であって、前記資源に関する価格情報を受信するステップと、前記ユーザ装置から、前記ユーザ装置が指定する前記サービスの質と予算に関する条件を受信するステップと、所定のイベントにตอบสนองして、前記資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記価格情報と前記条件を用いて、前記ユーザ装置から前記資源までの経路を選択し、前記サービスの質を最適化するよう制御するステップとを含むことを特徴とするフロー制御方法。

【請求項37】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置がサービスの提供を受けるために使用する資源を接続するネットワークにおいて行われるフロー制御方法であって、所定の前記資源に関する価格情報を独立して計算するステップと、

各資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記サービスの質を最適化するために、前記価格情報を使用するステップとを含むことを特徴とするフロー制御方法。

【請求項38】 請求項35において、前記各スイッチが、前記スイッチの前記資源に対する需要の変化に基づくタイミングで前記価格情報を更新し、前記ネットワーク・ブローカ装置に送信することを特徴とするフロー制御方法。

【請求項39】 請求項38において、前記更新された

価格情報が、前記スイッチ毎に

$$p_{i, \dots}^i = p_{i, \dots}^i + c \cdot ((bw_{i, \dots}^i - \alpha \cdot BW_{i, \dots}^i) / (\alpha \cdot BW_{i, \dots}^i))$$

で定義され、ここで、 $p_{i, \dots}^i$ はスイッチ*i*において更新された価格情報、 $p_{i, \dots}^i$ は前記スイッチ*i*における帯域幅の現在価格、 $BW_{i, \dots}^i$ は前記スイッチ*i*の帯域幅容量、 $bw_{i, \dots}^i$ は前記スイッチ*i*に入力されるトラフィックの合計、 c 及び α は定数であることを特徴とするフロー制御システム。

【請求項40】 請求項37において、前記価格情報の更新が、前記資源に対する需要の変化に基づくタイミングで行われることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項41】 請求項40において、前記更新された価格情報が、前記資源毎に

$$p_{i, \dots}^i = p_{i, \dots}^i + c \cdot ((bw_{i, \dots}^i - \alpha \cdot BW_{i, \dots}^i) / (\alpha \cdot BW_{i, \dots}^i))$$

で定義され、ここで、 $p_{i, \dots}^i$ は資源*i*において更新された価格情報、 $p_{i, \dots}^i$ は前記資源*i*における帯域幅の現在価格、 $BW_{i, \dots}^i$ は前記資源*i*の帯域幅容量、 $bw_{i, \dots}^i$ は前記資源*i*に入力されるトラフィックの合計、 c 及び α は定数であることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項42】 請求項35において、前記ネットワーク・ブローカ装置が前記ユーザ装置から受信する情報が、前記ユーザ装置のQoSプロファイル、前記ユーザ装置が前記サービスの提供において所望する帯域幅、及び前記ユーザ装置が前記資源に関して指定する予算に関する情報を含み、

前記ネットワーク・ブローカ装置が前記サービスの質を最適化するために、前記資源の使用速度を調整することを特徴とするフロー制御方法。

【請求項43】 請求項42において、前記ネットワーク・ブローカ装置が、前記ユーザ装置の資源の使用にตอบสนองして前記価格情報がどのように変化するかを予測するプライシング予測を行い、

前記資源の使用速度の調整が、前記プライシング予測に基づいて行われることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項44】 請求項36において、前記ユーザ装置から受信する情報が、前記ユーザ装置のQoSプロファイル、前記ユーザ装置が前記サービスの提供において所望する帯域幅、及び前記ユーザ装置が前記資源に関して指定する予算に関する情報を含み、

前記サービスの質を最適化するために、前記資源の使用速度を調整するよう制御することを特徴とするフロー制御方法。

【請求項45】 請求項44において、前記ユーザ装置の資源の使用にตอบสนองして前記価格情報がどのように変化するかを予測するプライシング予測を行い、

前記資源の使用速度の調整が、前記プライシング予測に基づいて行われることを特徴とするフロー制御方法。

【請求項46】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置と接続

するためのネットワーク、及び前記ネットワークを中継し、前記ユーザ装置に必要なサービスを提供するための資源を有するスイッチにより実現されるフロー制御方法を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記プログラムは、前記スイッチのそれぞれにおいて、そのスイッチに関する価格情報を独立して計算するステップと、前記ユーザ装置と前記ネットワークの間に配置されたネットワーク・ブローカ装置において、

前記各スイッチから前記価格情報を受信するステップと、

前記ユーザ装置から、前記ユーザ装置が指定する前記サービスの質と予算に関する条件を受信するステップと、所定のイベントにตอบสนองして、各スイッチの資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記価格情報と前記条件を用いて、前記ユーザ装置から前記資源までの経路を選択し、前記サービスの質を最適化するステップとを含むことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項47】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置がサービスの提供を受けるために使用する資源を接続するネットワークにおいて行われるフロー制御方法方法を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記プログラムは、前記資源に関する価格情報を受信するステップと、前記ユーザ装置から、前記ユーザ装置が指定する前記サービスの質と予算に関する条件を受信するステップと、所定のイベントにตอบสนองして、前記資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記価格情報と前記条件を用いて、前記ユーザ装置から前記資源までの経路を選択し、前記サービスの質を最適化するよう制御するステップとを含むことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項48】 ユーザ装置と、前記ユーザ装置がサービスの提供を受けるために使用する資源を接続するネットワークにおいて行われるフロー制御方法を実現させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、前記プログラムは、

所定の前記資源に関する価格情報を独立して計算するステップと、

各資源が全体的に効率よく使用され、かつできる限り同質のサービスが全ユーザ装置に提供されるように、前記サービスの質を最適化するために、前記価格情報を使用するステップを含むことを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、コンピュータ・ネ

ットワークに関し、より詳しくは、ミクロ経済学におけるフロー制御を用いたコンピュータ・ネットワークに関する。本発明は、(1) 特定のフロー制御方法に応じて動作するコンピュータ・ネットワーク、(2) 前記フロー制御方法に応じて動作するコンピュータ・ネットワークのノード、(3) コンピュータ・ネットワーク又はコンピュータ・ネットワークのノードを前記フロー制御方法に応じて使用可能にするためのコンピュータ・プログラム製品、及び(4) コンピュータ・ネットワークに関するフロー制御方法それ自体として実現される。

【0002】

【従来の技術】多くのネットワーク・アプリケーションにおいては、セル損失またはセル遅延に関する制限のような一定のサービス品質(QoS)を保証することが必要である。帯域幅及びバッファ容量といった資源が使用可能であれば上記した保証は、与えられる。ネットワークは、資源が有限であるため、可能な限り効果的にこれらの保証を与えようとする。このため、ネットワーク資源を適切に管理するフロー制御が必要とされる。

【0003】ネットワークを1つの経済活動と見立てることによって、この問題に新たな解決策が見出される。即ち、ユーザを消費者と考え、資源を商品と考えることができる。ここでは、ユーザは、ユーザが使用する資源に対して料金を支払い、資源の価格は、需要と供給の関係から決定される。このような考えを実際にネットワークに対して適用するために、種々のプライシング(価格)戦略が策定できるようにし、更にそのプライシング戦略は時間の経過に伴うユーザの需要の変化に対応させるべきである。

【0004】ミクロ経済学は、様々な態様でネットワークに適用されてきた。MacKie-MasonとVarianは、ネットワークの輻輳状態に応じたプライシング・システムを提案している(1995年9月発行のIEEE Journal on Selected Areas in Communications, 13(7):1141-1149に記載された、J.K. MacKie-MasonとH.R. Varianによる「Pricing Congestible Network Resources」を参照のこと)。この場合、輻輳が激しくなるにつれて価格は高騰し、輻輳が低下すると価格も低下する。価格は、資源の使用による外部性を内部化することによって決定される。

【0005】ここで、外部性とは、経済界において、ある人間の決定が(それによる影響を意図するものではないが)、他の人間の行動に影響することである。現実の社会では、数に限りのある物を一気に買い占めることにより、その物が、急に手の届かないような価格に跳ね上がってしまうことがある。この場合、人間の決定は、ある量の資源を買うことだけを意味し、外部性(予期しない影響)は、ユーザを市場から追い出すような、価格のスパイク(突出)である。

【0006】一方、内部化とは、ここでは、消費による外部性を反映させる(取り込む)ことである。数に限り

のある物を、ある数だけ購入しようとする場合、その行為によってその物の価格が上昇することが予想される。そこで、どれくらいその物を購入するかを決めるときに、その物の現在の価格と、その購入によって上昇が見込まれる価格の両方を考慮しなければならない。このような上昇が、その購入による外部性であり、その購入によって、どの程度価格が変動するかを考慮することが「内部化」である。

【0007】Ferguson等は、コンピュータ・ネットワークのミクロ経済学モデルに基づいたフロー制御機構を提案している(1989年に発行のIEEE INFOCOM'89のページ110-118に記載された、D.F. Ferguson, C. Nikolaou, 及びY. Yeminiによる「An Economy for Flow Control in Computer Networks」を参照のこと)。システム内の接続価格は、需要と供給がつり合うまで繰り返し調整された。彼らはシステムがNash平衡に達したことを立証できたが、その平衡した価格が決定されるまでは需要が一定である必要があった。需要が変化すると、その価格はもはや有効ではなくなった。

【0008】同様に、2人のMurphyが、ATM仮想チャネルの帯域幅を評価するのにミクロ経済学を使用している(1995年6月のITCにおけるJ.M. Murphy及びL. Murphyの「Bandwidth Allocation by Pricing in ATM Networks」を参照のこと)。

【0009】優先的プライシング(価格決定)に着目した研究やアプローチもある。Cocchi等は、優先順位に基づいた均一プライシング及び階層プライシングについて研究している(1993年12月発行のIEEE/ACM Transactions on Networkingの1(6):614-627に記載されたR. Cocchi, S. Shenker, D. Estrin, 及びL. Zhangによる「Pricing in Computer Networks: Motivation, Formulation, and Example」を参照のこと)。優先順位は、優先順位の低いトラフィック及び優先順位の高いトラフィックに対し、より公平に資源を分配するために導入された。スイッチは、異なる優先順位のトラフィックに関連し、且つ、論理的には別のキューを保持する。高い優先順位のトラフィックは、より良いサービスを受けられるが、コストが高い。彼らは、様々なアプリケーションを使用して、ユーザがネットワークのコストとパフォーマンスに対してより高い満足を得られるように、ユーザに関する価格を設定することができるを見出した。

【0010】近年、サービス品質(QoS)の測定及び/又は資源のプライシングの際の調整についてのアプローチがなされてきた。Ji等は、提供されるサービスの等級に基づくプライシング方法を提案している(1996年発行のIEEE INFOCOM'96, ページ1020-1027に記載されたH. Ji, J.Y. Hui, 及びE. Karasanによる「GoS-Based Pricing and Resource Allocation for Multimedia Broadband Networks」を参照のこと)。トラフィックは、要求されるサービスに基づいて分類され、全体の使用率を最大に

するようにそのグループ内でプライシングされる。JiangとJordanは、仮想回路、回路群(bundle)、及び仮想経路に沿ってユーザの利便性を最大にするために、効果的な帯域幅とプライシング機構を組み合わせた(1996年発行のIEEE INFOCOM'96、ページ888-895に記載されたH. JiangとS. Jordanの「A Pricing Model for High-Speed Networks with Guaranteed Quality of Service」を参照のこと)。

【0011】Krishnamurthy, Little, 及びCastanonは、ユーザが、価格の変化に伴いユーザの要求を線形的に調整できるプライシング技法を提案している(1996年発行のMultimedia Systems 4:328-337に記載されたA. Krishnamurthy, T. D. C. Little, 及びD. Castanonによる「A Pricing Mechanism for Scalable Video Delivery」を参照のこと)。コネクションは、調整に関する情報を提供し、プライシングによって、資源が不足している場合に、それらの割り当てを調整し直すようにされる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】多くのこうした方法では、期待できる結果が得られているが、これらの結果は、集中化されたアルゴリズム、仮定による使用曲線、または一定速度の情報源に依存するものである。

【0013】特に、今までの研究は通常、全てのスイッチにおける(コール・アドミッション・コントローラ)コネクション受付制御(CAC)に向けられている。ユーザ(クライアントとも呼ぶ)が、より速い速度での送信を許可される(即ち、より多くの資源を使用する)ためには、経路上においてCACにより、全て接続が行われなければならない。その経路に、送信をより速い速度で行う許可を得るためのリクエストが与えられなければならない。各CACは、より速い速度の転送が始まる前に、その転送を承認しなければならない。このことは、最初のCACがスイッチの全てのコネクションに対するリクエストを扱う必要があるという欠点を有していることになる。したがって、スイッチが多くなればなるほど、より多くの関連した動作が必要となり、オーバーヘッドがより多くなる。更に、クライアントは、使用速度(レート)を変更する前(即ち、より多くの資源を使用し、より速い速度で送信を行う前)に、その応答を待つ必要がある。この場合、クライアントがより早い速度で使用する前に、経路上の各CAC毎に、CACの介在と承認が必要とされるため、CACによるアプローチには潜在的に待ち時間が存在する。

【0014】従って、CACによるアプローチには、大きなオーバーヘッド、実質的な協調動作、及び長い待ち時間があるという重大な3つの欠点がある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明による制御システムは、コンピュータ・ネットワーク内のフロー制御を行うための新しい分散マーケットベースアプローチを提供

する。本発明によるアプローチにおいて、プライシングは、需要が少ない場合にユーザに資源の使用を喚起し、資源が不足する場合にその利用を低減させる。従って、本発明の根幹となる発想は、価格を直接需要と供給に連動させることにある。プライシングを分散することによって、この技法を様々なネットワークに適用することができる。価格はまた、予算に基づいて公平な分散が行われるように設定される。ユーザは、フローカを通して価格に反応し、ユーザのQoSプロファイルに基づいてその利用を調整できる。このQoSプロファイルは、使用曲線として機能し、経験値から求められる。

【0016】本発明は、以下の全てを達成できるという利点を有している。

- (1) 消費の外部性の内面化
- (2) Walrasian平衡における平衡価格の実現
- (3) Pareto-optimalである公平な分散の探索
- (4) ユーザにとってのQoSの最大化
- (5) 実際の使用機能を提供するQoSプロファイルの使用
- (6) 時間の経過により、ユーザからの需要の変化を認め、また喚起すること
- (7) 信号化し、保存する要求を最小化すること
- (8) トラフィックのタイプに依存しない戦略の生成。

【0017】本発明の様々な実施態様を以下で説明する。

【0018】本発明は概して、ネットワークにおいて、ユーザを接続しているスイッチのフロー制御に対して、マイクロ経済学的アプローチを利用するものである。

【0019】本発明の一実施の形態では、複数のネットワーク・フローカが、複数のユーザに対応しており、例えば、第1のネットワーク・フローカが第1のユーザに対応しており、第2のネットワーク・フローカが第2のユーザに対応している。本発明の一実施の形態は更に、第1のユーザに関するQoSプロファイルを第1のネットワーク・フローカに提供するステップと、第1のユーザから第2のユーザへの経路に関連する経路情報を第1のネットワーク・フローカに提供するステップを有する。前記経路は、第1のスイッチを規定するスイッチの1つを含む。本発明の上記一実施の形態は更に、第1のユーザから第1のネットワーク・フローカに、現在の好ましい帯域幅の値を提供し、第1のスイッチから第1のネットワーク・フローカに、それぞれの現在価格見積情報を送信する。第1のネットワーク・フローカは、第1のユーザのそれぞれの資源に関する予算、第1のユーザのQoSプロファイル、第1のユーザにとって現在好ましい帯域幅の値、及び第1のスイッチの現在価格見積情報に基づいて、資源の使用速度を選択する。その後、第1のユーザから第2のユーザに対して、選択された資源使用速度で転送が行われる。

【0020】本発明の別の実施の形態においては、第1

のスイッチが、更新後の価格見積情報を、第1のスイッチにおける需要の変化に基づき、一定のタイミングで送信する。

【0021】本発明の更に別の実施の形態においては、更新後の価格見積が以下の式で定義される。

$$【0022】 p_{i,j}^1 = p_{i,j}^0 + c \cdot ((bw_{i,j}^1 - \alpha \cdot BW_{i,j}^1) / (\alpha \cdot BW_{i,j}^1))$$

ここで、 $p_{i,j}^1$ は、更新後の価格見積、 $p_{i,j}^0$ は、そのスイッチにおける帯域幅の現在の価格、 $BW_{i,j}^1$ は、そのスイッチの帯域幅容量、 $bw_{i,j}^1$ は、そのスイッチに入力される全体トラフィック、 c 及び α は定数である。

【0023】本発明の更に別の実施の形態においては、第1のユーザから第2のユーザへの所定の経路が予め定められ、更に、その経路内に、第2のスイッチを規定する他のスイッチを含むものである。この態様では、第1のネットワーク・ブローカによる資源使用速度を第2のスイッチのそれぞれの現在価格見積情報に基づいて選択している。

【0024】本発明の更に別の実施の形態は、上記実施形態に対して、第2のスイッチが、第1のネットワーク・ブローカに対して、別個にそれぞれの現在価格見積情報を送信するものであるかまたは、第2のスイッチがプライシング情報を第1のスイッチに送信し、その第1のスイッチが、第1のネットワーク・ブローカに合成価格を提供するものである。

【0025】本発明の更に別の実施の形態においては、複数の経路が使用可能であり、ネットワーク・ブローカが1つの経路を指定することができる。この態様では、ネットワーク・ブローカが、別の経路の価格との比較を行い、最も条件の良い価格を選択する。

【0026】本発明の更に別の実施の形態においては、第1のネットワーク・ブローカが、突出した使用の外部性を内部化する。即ち、急激な需要の増加による価格への影響を考慮する。特に、ネットワーク・ブローカは、第1のユーザが第2のユーザへ転送するのに応答して、現在の価格見積情報がどのように変化するかを予測し、ネットワーク・ブローカが資源使用速度を選択するに際して、選択された経路に沿った1つ又は複数のスイッチ上でのネットワーク・ブローカ自身の消費による突出した影響を考慮に入れる。

【0027】本発明は、添付の図面とともにする以降の説明によって、より良く理解される。

【0028】

【発明の実施の形態】本発明に関して現時点で好ましい一実施形態について説明する。特に、本発明の好適実施例によるプライシング技法、本発明によるプライシング戦略がWalrasian平衡を達成することの証明、公平なPareto-optimal分散に到達する方法、及び様々なネットワーク及びトラフィック・タイプを使用したシミュレーション結果（従来のCAC技法との比較を含む）を説明する。

【0029】本発明による、このフロー制御方法は、ミクロ経済学に基づき、高い使用率と公平な分散を促進するためにプライシングが行われる。このネットワーク内には、図1に示すようにユーザ、ネットワーク・ブローカ(NB)、及びスイッチの3つの部分が存在する。コンピュータ・ネットワーク内には多くの資源が存在するが、ここでは帯域幅のプライシングに注目して議論する。帯域幅は貯蔵できない項目なので、ユーザはその使用に応じて（電気と同様に）課金される。

【0030】限られた資源に対しては、ネットワークのユーザ間で競合が生じる。かれらの需要は、かれらが使用しようとする資源の価格に反映される。ユーザはまた、有限の財貨を有し、その財貨に従って有効に資源を購入しなければならない。従って、かれらの予算と現在の価格に応じて要求が控えられる場合もある。これらの決定は、ネットワーク・ブローカの援助にしたがってなされる。

【0031】ネットワークを使用しようとするユーザは、ネットワーク・ブローカ(NB)を介してのみネットワークを使用することができる。NBは、ユーザとネットワークの端部の間に配置される。

【0032】NBはユーザに対してエージェントとして機能し、アプリケーション要求と価格を監視する。NBは、この情報を使用して、ユーザの消費に見合う分の課金を行う。ユーザへの課金は、NBが現在の使用速度と現在の価格で継続してユーザに課金するため、メーターと似ている。NBはまた、余裕がある資源の量を判定し、ユーザがその資源を最大限利用できるようにする。資源の値が判定されると、ユーザはすぐに送信を開始することができる。予約や制御信号の送信(signaling)は必要とされない。

【0033】スイッチは、後でユーザに要求されることになる資源を有している。このため、資源はその不足の度合いを反映して価格設定される。価格計算は、ローカルで（即ち他の部分と情報を交換することなく）供給と需要に応じてスイッチにおいて行われる。従って、あるスイッチからの価格は、他に直接影響しない。新しい価格が計算されると、その資源を使用しているNBにその価格が送信される。

【0034】また、プライシング情報は、様々な方法で提供される。これらの方法には、例えば、固定の経路設定を使用したり、複数の経路設定の中から経路を選択する場合とがある。

【0035】固定の経路設定を使用する場合、NBは、複数の経路から経路を選択することがない。こうした状況においては、例えばNBが、その固定された経路に沿ってネットワークに対してコール・セットアップ要求を送信することができる。このコール・セットアップ要求

10

20

30

40

50

に回答して、スイッチ全てが、それぞれの価格見積を送信することによって、NBに対し個々に直接回答する事ができる。他方、その経路の最後のスイッチが、最後のスイッチより前の位置におかれた隣接するスイッチに価格見積を送信することができ、その価格見積を受信したスイッチは、その価格を自身の価格見積に付加し、この累積の価格見積を、その経路等に沿った隣接する手前のスイッチに送信する。これを繰り返すことによって、NBにはその経路に関する価格見積が全体のものとして提供される。

【0036】もちろん、こうした処理は、経路上の第1のスイッチが価格見積を提供する最初のスイッチであり、その最初のスイッチが経路上の次のスイッチに価格見積を提供し、その次のスイッチは、自身の価格と第1のスイッチの価格をさらに次のスイッチに提供し、その経路の最後のスイッチに到達するまで同様の処理を繰り返し、その最後のスイッチが経路全体の価格見積をNBに提供することによっても同様に達成される。また、スイッチが周期的に価格見積をブロードキャストし、NBがそれらを収集して蓄積することによって経路全体の価格見積を求めるようにもできる。最後の代替案では、NBが価格情報を得るためにコール・セットアップ要求を送信する必要がないものである。しかし、NBは、NBが使用する可能性がある全てのスイッチに関する現在の価格見積を記録しておく必要がある。NBが特定の経路を要求する状況においては、前述した代替案の全てが実行可能である。

【0037】次に、複数の経路設定の中から経路を選択する場合について説明する。ここでは、NBが互いに異なる経路の価格を比較し、その中から最も価格の低いものを選択するよう構成されているものを考える。NBは、許容範囲内の性能を提供する第1の経路が検出されるまで、経路をチェックする。こうした検出が行われると、NBはその経路を、それが最も価格の低い経路であるかどうかを判定することなく選択する。また、NBは余裕のある第1の経路をチェックし、その経路を選択する。

【0038】本発明によるプライシング方法には、基本部分及び相互動作がある。一般的に言えば、2つの主たる利点がある。第1は、NBがユーザに代わって、決定の大部分を行うことである。このことは、ユーザに消費の決定をさせる必要性を減らす。第2に、スイッチが互いに独立して機能し、この技法を集中化させずに非常に適用範囲を広くしていることである。

【0039】次に、スイッチに関して、本発明のネットワーク・フロー制御システムを説明する。

【0040】帯域幅のプライシング手法は、Walrasian経済モデルに基づいている。価格は、そのスイッチにおいて、平衡価格が得られるまで資源の需要と供給に基づ

いて調整される（この調整に関するさらに詳細な情報は、1982年、Dryden Press から発行されたR.Leftwich及びR.Eckertの「The Price System and Resource Allocation」を参照のこと）。このモデルは、Pareto-optimal分散及び価格安定性をはじめとするいくつかの利点を有している。計算はスイッチにおいて行われ、新しい情報は、その情報を使用する各NBに送信される。

【0041】図20は、本発明の一実施態様によるスイッチを例示した図である。特に、スイッチは、ネットワーク・インタフェース10を介してネットワークと結合されている。ネットワーク・インタフェース10は、ネットワークと結合する手段を構成する。スイッチは、帯域幅を監視する手段を構成する帯域幅モニタ30によって帯域幅を監視する。スイッチは、スイッチングの手段を構成するスイッチング・システム40によって、スイッチング機能を実行する。これらの構成要素の動作は、スイッチング動作を制御する手段を構成する制御システム20によって制御される。前述の構成要素は、コンピュータ・ハードウェア及びソフトウェアによって個別に実装され、または様々な方法で1組のハードウェア上のソフトウェア・プロセスとして組み合わせられることは容易に理解できる。

【0042】各スイッチ S^i は、以下の情報を（例えば、制御システム20またはネットワーク・インタフェース10において）記憶する。

【0043】・現在価格 (p^i)。これは、そのスイッチにおける帯域幅に関する現在価格を表す。

【0044】・帯域幅合計 ($BW^{i, \dots}$)。これは、そのスイッチの帯域幅の容量を表す。この値は、提供する帯域幅の容量を示し、定数とすることができる。この情報は、帯域幅モニタ30によって、制御システム20内、または制御システム20に対して与える。

【0045】・受信帯域幅 ($bw^{i, \dots}$)。これは、そのスイッチに入力されるトラフィックの合計である。この値は帯域幅の要求を表し、ユーザに依存して時間毎に変化する。帯域幅モニタ30は、この情報を制御システム20に与えられる。

【0046】・定数 c 及び α 。これらの定数は、価格更新のための計算式（後述の式1参照）において使用される。

【0047】前述のこれらの情報は、集散的に価格見積 p^i と呼ばれる。全ての情報が局部的に存在するため、プライシングは他のスイッチからの信号送信を必要としない。価格がスイッチにおける帯域幅の現在の提供容量と需要を反映しているため、価格は時間の経過に伴い、周期的に変化する。（例えば制御システム20内の）スイッチ i は、現在の情報を使用して以下のように価格を更新する。

【0048】

$$p^{i, \dots} = p^i + c \cdot ((bw^{i, \dots} - \alpha \cdot BW^{i, \dots}) / (\alpha \cdot BW^{i, \dots}))$$

) . . . (式 1)

この価格を求める式の形式は、模索過程 (tatonnement process) と呼ばれている (1989年、Dryden Pressから発行された、W.Nicholsonによる「Microeconomic Theory, Basic Principles and Extensions」参照)。模索過程は、需要と供給が等しい場合に、検索あるいはグルーピングプロセスとして、平衡価格を求める方法である。それは、現在の需要と供給に関連して価格を設定する算術式として表される。ある価格が与えられている場合、供給が需要より大きければ、価格が下げられて消費者の消費を喚起し、逆に、供給が需要より小さければ、価格が上昇して消費者の消費を抑制する。価格の低下または上昇の量は、上記算術式において規定される。供給と需要が等しい場合、上記算術式は、平衡価格を示す。

【0049】新しい価格は、前の価格に訂正要素を加えたものである。訂正要素は、需要 (受信トラフィック) 及び供給 (利用可能な帯域幅) に基づいたフィードバックを提供する。利用可能な帯域幅は、帯域幅の合計と定数 α を乗算したもので、 $0 < \alpha \leq 1$ である。これは、帯域幅の合計のある割合 (α) に達した後で、価格をより急速に高くすることによって達成される。これは、価格が、分子が正である場合 ($b w^1, \dots, > \alpha \cdot B W^1, \dots$) のみ高くなるので、式により明らかである。価格は、需要が低下した場合低下し、需要が高まった場合高くなる。供給と需要が等しい場合に、スイッチ i は平衡価格 p^i に達する。定数 c は、フィードバック信号を増幅し、その値は、どれだけ価格を急激に高騰または低下させるかを最終的に制御する。供給曲線が右上がりの曲線であると仮定すると、平衡価格 p^i は安定する。式は負の価格を生じる可能性があることに注意すべきである。ここでは、価格は負でないある最小価格 (スイッチにより設定される) 以下にはならないと仮定する。

【0050】前記式 1 の計算は、スイッチにおいて資源に対する需要が変化した場合に行われる。更新の間隔は、スイッチを使用している任意の NB に対する最も長い伝播遅延の少なくとも 2 倍でなければならない。これは、スイッチを使用する全ての NB が同じ価格を有することを保証する。このことは同時に、スイッチによって送信される価格見積の数を低減する。新しい価格 p^1, \dots が計算された後、新しい価格見積が送信される。これは、新しい価格が前の価格と異なる場合のみ実施される。NB がその価格見積を受信すると、NB は現在の消費を変えるべきか判断する。

【0051】次に、NB に関して、本発明のネットワーク・フロー制御方法をより詳細に説明する。

【0052】前述のように、ユーザはネットワーク・ブローカ (NB) を介してのみ資源を使用できる。図 21 は、本発明の一実施形態による NB を例示した図である。ネットワーク・ブローカには、ネットワーク・ブローカの動作を制御する NB 制御 60 が備えられており、

ネットワーク・ブローカの動作を制御する手段を構成する。ネットワーク・ブローカには、ネットワーク・インタフェース 50 が備えられており、それによって、ネットワークとの結合が行われる。ネットワーク・ブローカには、以下に示す様々な情報を記憶するメモリ 80 が用意されている。ネットワーク・ブローカには更に、ユーザまたはユーザのプロセスとインタフェースするユーザ・インタフェース 70 も備えている。ユーザは、要求された帯域幅や要求された満足レベルなどの情報を、ユーザ・インタフェース 70 を介して NB に供給する。

【0053】前記事項は、様々な組み合わせのハードウェア及びソフトウェアによって実装できることが容易に理解される。例えば、メモリ 80 は、NB 制御 60 として動作しているコンピュータの不可欠な部分であってもよい。当業者には、例えばユーザ・タスクと NB タスクを含む共通プロセッサが提供された単一のコンピュータを使用する構成を含む、様々なハードウェア及びソフトウェアの組み合わせをとりうるということが明らかである。

【0054】ユーザが、そのユーザと送信先の間でアプリケーションを実行しようとする場合を仮定すると、ユーザは最初に、ある NB を選択し、いくつかの情報を与えなければならない。ここで説明する実施形態においては、各ユーザが自身の NB を有するものとして示されている。

【0055】図 28 は、NB における本発明の一実施形態の処理の流れを示すフローチャートである。NB は、ユーザがセッションを開始しようとする場合に、そのユーザが規定する情報から使用帯域幅を決定し、その帯域幅でサービスの提供を行う。

【0056】図 28 のステップ S10 においては、ユーザの QoS プロファイルを取得する。NB は、以下の項目を、図 21 に示すインタフェース 50 及び 70 等を介して収集し、メモリ 80 等に記憶する (ステップ S20 及び S30 等で取得される項目についても同じ)。

【0057】QoS プロファイルは、特定の資源の量を特定の満足レベルに関連づける使用曲線として機能し、価格戦略の重要な部分を占める。QoS スコアの範囲は 1 から 5 までである。5 は完全と認められる品質を、4 は極めて高い品質を、3 は良い品質を、2 は最低限の品質を、1 は非常に劣悪な品質をそれぞれ表している (QoS プロファイルに関するより詳しい情報は、1997 年 9 月の D.Reininger 及び R.Izmailov による International Workshop on Audio-Visual Services over Packet Networks, AVSPN'97 の議事録「Soft Quality-of-Service for VBR+ Video」を参照のこと)。ユーザは満足のレベルまたは満足の指標を NB に指定することができる。NB は、これらのレベルまたは指標を、許容可能な最低限の帯域幅 (以下参照) に関する閾値を決定するために使用することができる。

【0058】ステップS20において、ユーザと送信先を接続する経路Rを取得する。ここで、Rはk個のスイッチ ($S^i, i=1\dots k$) を含む。

【0059】ステップS30において、所望の帯域幅を取得する。所望の帯域幅 ($bw_{desired}$) は、アプリケーションが完全なQoSの値のために必要な帯域幅の容量である。アプリケーションがVBRである場合、この値は時の経過とともに変化する。

【0060】ステップS40において、NBが、経路Rの各スイッチの価格見積情報を有しているか否かが判定 10 される。有していない場合 (ステップS40 (N))、ステップS50で、経路R上の各スイッチ毎に、単一の価格見積 $p q^i$ が収集される。ここでベクトル $p q = \{p q^i, i=1\dots k\}$ は、その経路の価格見積のベクトルである。価格見積は、それらがローカルにおける需要と供給を表すため、時の経過とともに変化する。

【0061】価格見積情報を有している場合 (ステップS40 (Y))、及びステップS50の後で、処理はステップS60に進み、そこで、これまで取得した情報及び予算を元に、当該ユーザが使用すべき帯域幅が決定さ 20 れる。

【0062】ここで、経路が選択されると、ユーザはk個の予算額ベクトルbを提供する。ここで、ベクトルb

$$bw_{...} = f(\text{ベクトル } p q, bw_{desired}, QoS \text{ プロファイル, ベクトル } b) \dots (式2)$$

使用帯域幅 ($bw_{...}$) は、価格によって所望の帯域幅 ($bw_{desired}$) 以下の場合もある。

【0067】ここで、使用すべき帯域幅がどのように判定されるかを説明する。

【0068】アプリケーション・イベントまたは価格イ 30 ベントが発生すると、 $bw_{...}$ は変更される可能性がある。しかし、その変化は、(価格または $bw_{desired}$ における) 変化が顕著である場合にのみ発生する。シミュレーションでは、(ベクトルpまたは $bw_{desired}$ における) 変化が10%であるものは顕著なものであると考えられる。変化が顕著である場合、NBはまず、使用されうる最大及び最小の帯域幅 (bw_{lim}) を計算する。スイッチiで使用されうる最大の帯域幅は、以下の式で表される。 $bw^i_{lim} = b^i / p^i$, $i=1\dots k$ 従って、NBが許容する最大の帯域幅は、以下の数1式で表され 40 る。

【0069】

【数1】

$$bw_{max} = \min_{i=1\dots k} \{bw^i_{max}\}$$

この式は、現在の価格における帯域幅を最大化することに注意が必要である。使用されうる最小の帯域幅は、QoSプロファイルと $bw_{desired}$ から求められる。QoSの制約、価格、及び予算によって、 $bw_{...} < bw_{lim}$ 50

$= \{b^i, i=1\dots k\}$ であり、 b^i はスイッチ S^i に対応する。本発明の方法は、ここでは複数の予算額を使用する例によって説明されているが、セッションの開始において単一の基金を使用することもできる。これを行うためには、そのセッションの間にその基金がどのように費やされるかを定義する必要がある。シミュレーションと分析を簡単にするために、複数の予算額が使用される。

【0063】異なる予算が、各スイッチの価格の影響を局所化するのに用いられる。このことによって、ユーザはその全ての予算を1つの高価なスイッチに関して費やさなくても済む。もちろん、これらの個々の予算への入金、及び個々の予算からの出金は可能であり、そのことが利点でもある。

【0064】次にNBは、ベクトル $p q$ 、 b 、 $w_{desired}$ 、QoSプロファイル、及び予算額 (ベクトルb) を使用して、使用帯域幅 ($bw_{...}$) を決定する。

【0065】これは実際に使用される帯域幅の容量であり、アプリケーション要求及び予算の制約に基づくものである。使用される帯域幅は、以下の式2に示すような関数で表すことができる。

【0066】

の場合があり得る。このような場合、ユーザは予算額を増額するか、より低いQoSを受け入れるか、または接続を終了させる必要がある。

【0070】ここで、上記説明に関連して、図22及び図23を使用して、実験的に求められたQoSプロファイルの例を説明する。QoSプロファイルについては、既に説明した通りである。QoSプロファイルが、単純なものでも複数の切り口を持つものであってもよいことは明らかである。後者はより有用なアプローチである。これは、ユーザがいつも異なるアプリケーションを利用しているからである。この例では、ユーザが電子会議、ビデオオンデマンド (VoD)、またはマルチメディアオンデマンド (MoD) のうちどれを実行したいかによって、ユーザは異なる帯域幅を有することになる。ここでは、VoDは「動作」タイプのアプリケーションに関連し、MoDは対話タイプのアプリケーションに関連する。これらの広範なカテゴリの内容は追加や削除されることがある。

【0071】図22の、グラフで示された曲線は、柔軟 (softness) プロファイルと呼ばれ、Bに後述するある値を設定し、Bの約1.1倍の値をAに設定し、更にBの約0.7倍の値をCに設定することにより導出される。図22では、横軸が帯域幅比率である。帯域幅の比率とは、「所望の」帯域幅に対する、実際に「購入された」帯域幅の比率を示すものである。帯域幅比率が1である

場合、そのことは、ユーザが所望する帯域幅を得ることができ、従って満足度が最大となる（縦軸の満足指標 5 として示されている）。値 B は、あるレベルの性能に対応する所望の帯域幅の比率である。ここであるレベルの性能とは、所望のレベルではないが、所与のアプリケーションに関してユーザに良好な QoS を提供することを指す。言い換えれば、良好な（即ち、許容可能な程度に劣った）性能を維持するために、アプリケーションは少なくとも所望の帯域幅の B% を購入する必要があるということである。図 23 は、アプリケーションの異なるカテゴリに従って B がどのように変化するかを例示したものである。従って、NB は、価格を取得すると、アプリケーションの特定の QoS プロファイルを使用して、ネットワークにどれだけの帯域幅を要求すべきかを決定する。柔軟プロファイルの正確な形態はアプリケーションに依存する。

【0072】図 23 は、B の値の範囲を示している。図 23 に示された範囲は、本発明の発明者達によって経験的に定められたものである。電子会議に関しては、B の範囲（即ち、良好な性能の範囲）は 0.2 ~ 0.6 の間である。個人的な好みや物理特性の違いによって、この範囲が左右に変動することもあり得る。

【0073】B を固定することによって、（理想的とは限らないが）良好なレベルの性能に関する所与のアプリケーションの閾値が設定されることが解る。図 22 では、B より品質が高いポイントを A で示している。従って、性能が単に良好といった以上の程度（即ち、「極めて高い」または「非常に良い」品質）であることを望む場合、NB に、A を閾値に使用して帯域幅の購入を行うように指示することができる。同様に、図 22 の C は、それ以下では、アプリケーションが実質的に機能しないような程度に劣った性能となる品質の閾値を表している。しかし、ユーザは、品質が非常に悪いものとなっても、接続したい場合がある。このような場合、C が閾値（即ち、「最低限の」品質）として使用される。

【0074】このことを以下のような例によって説明することができる。例えば、ワードプロセッサを用いてタイピストが文書を印刷する場合、印刷アプリケーションが印刷品質は下書き、通常、最良のうちどれにするのかを聞いてくることが多い。本発明においても、同様の方法で、ユーザは、NB に、アプリケーションを最低限、

$$\begin{aligned} bw_{i..} &= bw_{i.., req} && (bw_{i..} \geq bw_{i.., req} \text{ の場合}) \\ bw_{i..} &= bw_{i..} && (bw_{i..} < bw_{i.., req} \text{ かつ、} bw_{i..} \geq bw_{i..} \text{ の場合}) \\ bw_{i..} &= 0 && (\text{その他、} bw_{i..} \text{ が存在しない場合}) \end{aligned} \quad \dots \quad (式 3)$$

NB は、（価格見積りからの）スイッチ毎に異なる情報を使用して、 $bw_{i..}$ が、その NB がサポートしない価格の変更を引き起こすかどうかを判定し、使用される帯域幅の外部性を最小にしなければならない。スイッチ i に

良好、または極めて良好な品質で実行するよう指定することになる。

【0075】別の言い方をすれば、ポイント C は、最低限の性能の閾値として考えることができ、ポイント C とポイント B の間の範囲は、非常に劣った性能を提供する範囲と考えることができる。ポイント B は、良好な性能の閾値として考えることができ、ポイント B とポイント A の間の範囲は、許容可能な程度に劣った性能を提供する範囲と考えることができる。ポイント A は、より優れた性能の閾値として考えることができ、ポイント A とポイント 1 の間の範囲は、ほんの少しだけ劣った性能を提供する範囲と考えることができる。最後にポイント 1 は、前述の通り、ユーザの所望する帯域幅を完全に満足する値として考えることができる。

【0076】図 22 に示すように、ポイント 1 は満足レベル 5 を提供し、ポイント A は満足レベル 4 を提供し、ポイント B は満足レベル 3 を提供し、ポイント C は満足レベル 2 を提供する。

【0077】従って、ユーザは、アプリケーションが良好な品質で実行されるよう自由に選択することができる。図 22 に示された柔軟プロファイルは、このように NB が少なくとも所望の帯域幅の B% を購入しなければならないことを示している。ユーザが極めて良好なレベル（満足レベル = 4）を設定すると、図 22 の柔軟プロファイルは、NB が少なくとも所望の帯域幅の A% を購入しなければならないことを示すことになる。実際の実施に基づいて、NB は、常時できるだけポイント 1 に近い比率で帯域幅を購入するかまたは、所望の帯域幅全体を得ることができても、所望の帯域幅の A% を購入することによって予算を保持しようとする。

【0078】 $bw_{i..}$ と $bw_{i..}$ が計算されると、 $bw_{i..}$ を求めることができる。以下の手順は、現在の価格及び予算における最大帯域幅を求めようとするものである。この手順はまた、消費を変更することによる自身への価格の影響をも計算する。ミクロ経済学では、これを「外部性の内部化」と呼び、公平な Pareto-optimal 分散（前述の Nicholson の文献を参照のこと）を判定する際の重要なポイントとなる。

【0079】初期の $bw_{i..}$ は、以下の式 3 で与えられる。

【0080】

において NB がサポートできる最大の価格は、以下の式 4 で表される。

$$[0081] \quad b^i / bw_{i..} \quad \dots \quad (式 4)$$

新しい価格は、スイッチ i において、 $bw_{i..}$ を使用し

て以下の式5で計算される。

$$p^i + c \cdot \left((bw_{i,j} + bw^i_{i,j} - \alpha \cdot BW^i_{i,j}) / (\alpha \cdot BW^i_{i,j}) \right) \quad \dots \quad (式5)$$

式4及び式5を使用すると、以下の不等式6が、利用可能な $bw_{i,j}$ の値に関する境界を提供する。

$$b^i \geq bw_{i,j} \cdot [p^i + c \cdot \left((bw_{i,j} + bw^i_{i,j} - \alpha \cdot BW^i_{i,j}) / (\alpha \cdot BW^i_{i,j}) \right)] \quad \dots \quad (式6)$$

式6の $bw_{i,j}$ に対する解によって、NBがサポートできる価格に変更されたスイッチ i での帯域幅が得られる。不等式(式6)は、閉じた形式(closed form)を持ち、反復的に求めることができる。反復的アプローチは最初に、(式3から得られる)最初の $bw_{i,j}$ において不等式をテストする。式を満たさない場合、 $bw_{i,j}$ を定数値(帯域幅に関して可能な最小の分割単位)だけ減算し再テストする。この手順は、不等式を満たす $bw_{i,j}$ が見つかるかまたは、 $bw_{i,j}$ に達するまで繰り返される。この手順は、経路R上の全てのスイッチに対して繰り返される。この方法を使用することによって、ユーザは、外部性の影響を最小にしつつ、使用率を最大にする。

【0084】言い換えると、NBが、ネットワーク上に発生する自身の動作に関する影響を予測する。NBが、スイッチ自身で使用される価格更新式と、使用されるパラメータ(即ち、 c 、 $bw^i_{i,j}$)を用いて予測を行う場合、最も効果的である。従って、ユーザが見る効果的な価格は、そのユーザの要求が他人に与える影響を含むものである。

【0085】ここで、再び図28のフローチャートの説明に戻る。ステップS60で使用帯域幅($bw_{i,j}$)が決定された後、NBは、ステップS70において、すぐにその速度で転送を開始する。信号送信が実施されることはない。この技法は、オーバーヘッドをかなり低減する。

【0086】ここで、多くのユーザが1つのスイッチを使用し、価格は平衡値に達していると仮定する。また、1人のユーザがセッションを終了すると、このセッションに伴う帯域幅の減少により、結果的に価格が下がるものとする。残りのユーザが相変わらずこの低価格を利用する場合、資源の過剰割り当てが発生する。この影響を低減するための1つの単純なアプローチは、各ユーザにユーザの新しい $bw_{i,j}$ を、スイッチに残っているユーザの数に分割するよう要求することである。このことは、再交渉(再ネゴシエーション)の結果として、より低い価格が得られる場合にのみ行われる。1つのスイッチを使用する多くのユーザがより速い速度で同時に送信を開始する場合は、アプリケーション・イベントによって(価格イベントによってではなく—しかし、これらのイベントの相関は必要である)過剰割り当てが依然として発生する。通常は、 $\alpha \cdot BW^i_{i,j}$ に基づいて価格を調整し、ほとんどのスイッチを大容量のものにすれば、

【0082】

【0083】

この問題は重要なものではなくなる。

【0087】ユーザがセッションを開始しようとする場合、最初に、許容可能なQoS値(何によって許容可能なQoS値を定義するかは、ユーザによって判断される)を実現するのに十分な資源がなければならない。資源が不足する場合、ユーザはネットワークに参加することを許されない。このことは、ネットワークの過負荷を防止し、多くのユーザが劣悪なQoSでサービスの提供を受ける代わりに、(限られた)各ユーザが良好なQoSを享受できる。このプライシング方法は基本的に、こうした接続許可制御の技法を提供するが、伝統的なCACとは対照的に、その制御は分散され、NBによってユーザの満足情報に従って提供される。

【0088】これまで説明してきた図28のNBの処理の流れ(ステップS10～S70)は、ユーザがセッションを開始する場合の処理の流れを示したものであるが、ユーザのセッションの間も、ユーザが使用する帯域幅の容量の変更を求めるイベントがランダムに発生し、図28に示すステップS40以降が繰り返されうる。図2に示すように、NBにとって2つの重要なイベントがあり、それはアプリケーション・イベントと価格イベントである。アプリケーション・イベントは、資源要求における変更がある場合に発生する。これらのイベントはランダムに発生し、 i 番目のアプリケーション・イベントは、 app_i と表記される。第2のイベントは価格の変更を示す。これらの価格イベントは、ある程度周期的に発生する。 j 番目の価格の変更は p_j と表記される。

【0089】前述したように、使用帯域幅の容量の変更は、アプリケーション・イベントの発生時または価格イベントの発生時に発生する。新しい $bw_{i,j}$ が、前の値と異なる場合、ユーザはすぐにその新しい値で送信を開始する。これにはスイッチからの直接の確認またはフィードバックを要しない。

【0090】次に、割り当ての最適化に関する説明を行う。どんな割り当て戦略を用いても、ある最適な割り当て目標が存在する。プライシングが使用されているので、最適化はミクロ経済学の用語で説明される。本発明の技法が目指す2つの重要な目標がある。1つはPareto-optimal割り当てであり、もう1つはWalrasian平衡である。

【0091】Pareto-optimalは、これ以上ユーザがそのユーザの割り当てを、他人の使用を低減することなく改善することができないような有限な資源の割り当てであ

る。例えば、3人のユーザと6つの資源が存在すると仮定する。更に、資源に対する要求が満たされていないと仮定する。ユーザ毎に2つの資源を割り当てることによって、他人の使用を減らさないで自分の使用を改善できるユーザがいなくなるので、この割り当てはPareto-optimal割り当てになる。しかし、最初の2人のユーザにそれぞれ1つの資源のみを割り当て、最後のユーザに4つの資源を割り当てた場合も同様にPareto-optimalである。従って、上記定義を使用すると、Pareto-optimalでも不公平な割り当てが起こりうる。

【0092】模索過程 (tatonnement process) は、資源の最後の割り当てがPareto-optimalになるような価格を探す (1974年にDryden Pressから発行されたA. Takayamaの「Mathematical Economics」参照) ために行われる。プライシング及び予算の追加は、不公平なPareto-optimal割り当てが発生する可能性を低下させる。予算はユーザの購買力を提供し、事実上、(より多くの予算を

$$ed(p) = (bw_{i, \dots, i} - \alpha \cdot BW_{i, \dots, i}) \quad \dots (式7)$$

図3及び図4には、システムの供給、需要、及び過度の需要の曲線が示されている。これらの図から解るように、需要曲線は負の傾きの曲線である。これは、価格の上昇が需要の低下を招いていることを表している。帯域幅の供給は一定であるため、供給曲線は垂直な直線である (スイッチは帯域幅を生成しない)。この供給曲線と需要曲線から、過度の需要曲線が導出される。

【0096】これらのグラフを用いて、価格ルール (式1) の挙動を予測することができる。安定性は以下の数2式で表される。

【0097】

【数2】

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_n \rightarrow p_*$$

$$dp/dt = c \cdot (ed(p) / (\alpha \cdot BW_{i, \dots, i})) \quad \dots (式8)$$

$\alpha \cdot BW_{i, \dots, i}$ は一定である (スイッチは帯域幅を生成しない) ため、定数 k は以下のように求められる。

$$【0100】 k = c / (\alpha \cdot BW_{i, \dots, i})$$

前述した定義を使用すると、価格調整は以下の式9ように定義できる。

【0101】

$$dp/dt = k \cdot ed'(p_*) \cdot (p - p_*) \quad \dots (式10)$$

この式の一般的解法は以下の通りである。

$$p_n = (p_0 - p_*) e^{k \cdot ed'(p_*) \cdot t} + p_* \quad \dots (式11)$$

ここで、 p_0 は最初の価格である。この解法から解るように、時の経過に伴いシステムは安定する。しかし、 $ed'(p_*)$ の傾きは負でなければならない。これが図4に示されている。平衡価格に到達するのに必要な反復の数は、トラフィック、予算、及び定数 c に依存する。スイッチはこれらの最初の2項目に関する制御を行わない。しかし、いくつかの基本情報が c の選択において有

持った人に対する) 優先権が形成される。結果として、ユーザは彼らの予算に見合った公平な割当を得ることになる。

【0093】Walrasian平衡価格 (p_*) は、価格が、需要と供給の一致する点に達した場合に発生する。この点で資源は十分に使用されている。需要が変化した場合、プライシング機構は、その価格を平衡に戻すように修正しなければならない。本発明のプライシング技法がこれを達成できることが、ここで説明される。

10 【0094】Walrasian価格の安定性は、価格を需要と供給にตอบสนองして調整することにある。この理由から、価格の調整は、ある特定の価格における過度の需要に関連する市場からの情報によって起動される。ネットワークのスイッチに関しては、価格 p における過度の需要を以下の式7で表す。

【0095】

価格ルールは、価格 p が平衡価格 p_* より小さくなると価格 p を増加させるようになる。これは、正の過度の需要が存在するからである。 p が p_* より大きい場合、 p は p_* に向かって低下する。これは、過度の需要が負だからである。従って、価格ルールは常に、価格を p_* に向けて移動させ、結果的に安定な平衡価格にする。このことが真であるためには、供給曲線の傾きは正でなければならないことに注意すべきである。

【0098】平衡価格も数学的に安定であると証明できる。過度の需要曲線を使用した時の経過に伴う価格式 (式1) からの価格調整は、以下の式8で表すことができる。

30

【0099】

$$dp/dt = k \cdot ed(p) \quad \dots (式9)$$

価格調整は、1次微分方程式と見ることができる。テーラーの近似式を使用すると、式のローカル応答は平衡価格の領域内で分析されうる。

【0102】

40

【0103】

用である。 c が反復数に影響を与える例を図5に示す。 c が低すぎると価格が徐々に変更され、より多くの反復を招く。グラフでは、 c の値が25の時22回の反復が行われている。一方、 c の値が100から350である場合は、反復は約12回である。しかし、 c の値が大きすぎると価格の急激な高騰が生じ、ユーザの何人かは価格の訂正が行われる前に使用を終えてしまう。

【0104】次に、実験で得られた結果について説明する。

【0105】ここでは、プライシング戦略が従来のCAC技法と比較されている。これは、現在の割り当てに対してプライシングとCAC技法の利益を測定することによって行われる。これまでの研究によって、プライシングの利点は、論理的に示されてきたが、大規模なネットワークと様々なトラフィック・タイプを用いて実験をしたものはない。シミュレーション結果は、本発明のプライシング技法が公平なPareto-optimal分散とWalrasian

10

平衡を使用頻度の高いネットワークで達成するものであることを示している。

【0106】固定ビット速度(CBR)、可変ビット速度(VBR)、及び対話型VBRトラフィックを使用して3組の実験が行われている。図6に示すQoSプロファイルが各資源に使用されている。このプロファイルはVBRトレースを使用して実際にMPEGビデオアプリケーションから生成される(前述したReininger及びIzm ailovの文献を参照のこと)。

【0107】CBRトラフィックは、接続のビット速度が一定に保たれる点に特徴がある。言い換えれば、本発明では、NBがコールの開始時点で、購入する帯域幅を指定する。その帯域幅のレベルは、コール全体に亘って提供される。CBRトラフィック及びCBR接続を使用すると、選択された帯域幅は、ほんの短い時間だけ全帯域が使用されることがあっても、コールの間に発生する全てに対して十分なものである。

20

【0108】VBRトラフィックは、接続のビット速度が可変であることに特徴がある。本発明の動作によれば、NBに所望の帯域幅の容量が動的に提供され、現在の要求に見合う正しい帯域幅の容量を購入する。このようなアプローチは、CBRの帯域幅の使用に関してはより効果的であるが、ネットワークによる接続の扱いをより複雑にするものである。VBRは、帯域幅の使用に関して、CBRより効果的である。それは、ユーザが現在の要求と同調する、より近い帯域幅を購入し、あり得る要求のピークを見越した過剰な容量の帯域幅を「予約」しないことによる。

30

【0109】図7のネットワークでは、CBRと非対話型GBRを用いた実験が行われた。ネットワークは7つのスイッチを含む。各スイッチは12の入力送信元を有し、容量は155Mbpsである。帯域幅は、250Kbps単位に増分される。スイッチ間を接続するリンクの長さは1000Kmである。資源と最初のスイッチを接続するリンクの長さは25Kmである。ユーザは、1、2、又は3のホップ数の経路を有し、1秒のインターバルでネットワークに入力される(ユーザ0で開始され、ユーザ48で終了する)。

40

【0110】各実験ごとに、プライシング戦略は以下の初期値を有している。各予算 b_i は、0.30/秒に設

50

定されている(一般化するために、価格の単位は省略している)。全ユーザは同じ予算ベクトルを有しているの で、ユーザは購買力に関して等しいと考えられる。この ことによって、全ユーザが公平に扱われ、同じ容量を要 求した場合に、不均衡な割り当てが行われない。スイッ チは価格が0.10/Mbに初期設定され、定数 c は5に 設定され、 α' は90%に設定される。ユーザとその NBの間には伝播遅延がないものと仮定する。スイッチ は、そのスイッチに接続されているユーザの最も長い伝 播遅延の20倍に等しいインターバルでその価格を更新 する。例えば、図7のネットワークにおいて、スイッチ 0は、スイッチ3より迅速にその価格を更新する。

【0111】ネットワーク内のユーザに提供される資源 の利用及びQoSは重要なものである。ユーザと使用の 数によって、割り当ての効果を洞察できる。観察された QoSを測定するために、サービスの質が良好、または それ以上である比率(GoB)を計算する。GoB計算 値は、ユーザに少なくともスコア3の品質が提供された 時間の平均比率である。性能は、各実験毎の割り当てグ ラフとQoSスコアグラフに見て取ることができる。割 り当てグラフは、特定のスイッチにおける個々の使用状 況と全体の使用状況を示す。QoSスコアグラフは、極 めて良好なQoS(スコアが4.95以上)の受信を行 っているユーザ数、良好なQoS(スコアが4.94と 3の間)の受信を行っているユーザ数、または劣悪なQ oS(スコアが3未満)の受信を行っているユーザ数を 時間の経過毎に示す。

【0112】このプライシング技法を従来のCAC技法 と比較したものも重要である。CAC技法について、以 下に簡単に説明する。

【0113】この技法は、資源の割り当てのために信号 送信を必要とする。ユーザがより多くの資源を求め、再 交渉しようとする場合、ユーザはリクエストを経路内の スイッチに送信しなければならない。各スイッチはその リクエストを読み、スイッチが割り当て可能な帯域幅の 容量を判定する。割り当ては、リクエストの早い順に行 われる。スイッチが要求された容量の割り当てをすること ができない場合、スイッチはそのリクエストを可能な 容量に変更する。この新しいリクエストは、次のスイッ チに送信され、そこで処理が繰り返される。次に、最後 のスイッチがそのリクエストをユーザに返す。結果的 に、経路内で利用可能な最小の容量が割り当てられる。 メッセージがNBに到達すると、NBは割り当てられた 容量が十分かどうか、図6で示されたQoSプロファイル を使用して判断しなければならない。十分な容量であ れば、NBは割り当てられた値で送信を開始する。この 割り当て処理は、より速い速度の送信がされる前に、少 なくともラウンドトリップ伝播遅延が必要になる。ユー ザがより少ない資源の使用を望むなら、ユーザはすぐに そうすることができる。しかし、経路内のスイッチにそ

のことを知らせなければならない。これは、ネットワークがユーザの要求をサポートできなくなるまでユーザが使用帯域の変更をしないので、反作用的な戦略といえる。

【0114】CBRの実験によって、アルゴリズムの性能をより良く理解することができる。割り当ての結果がPareto-optimalであるかどうか、及び価格が平衡に達したかを判定することは容易である。前述の全てのプライシング方法はCBR送信元を利用していたが、複雑なネットワーク構成をもつものはほとんどなかった。この実験においては、各送信元は60秒間、20Mbpsの帯域幅を要求する。最大で7ユーザがピーク速度でスイッチを使用することができるが、QoSプロファイルのために、より多くのユーザがスイッチにアクセスできる。

【0115】プライシング方法と動的CACの結果が図24に示されている。図24に示すように、CAC技法は、スイッチ毎に8人のユーザをサポートするのみである。即ち、7人はピーク速度の20Mbpsで、1人は15Mbpsでサービスが提供される。いずれかのスイッチに到達した最初の8人のユーザがアクセスを行い、残りのユーザはサービスの提供を拒否される。

【0116】図8は、スイッチ0の帯域幅の割り当てを示しており、8人目のユーザが参加した時点で、全体割当量が最大帯域幅となっている。また、図8には、1人目から7人目のユーザ（ユーザ0～6）のそれぞれに提供された帯域幅と、8人目のユーザ（ユーザ7）に提供された帯域幅も示されている。

【0117】図9は、QoSスコア毎のユーザ数を示している。スイッチ0は、このネットワーク内のスイッチを代表して示されている。割り当てはPareto-optimalであるが、1人目から7人目のユーザは、極めて良好なスコアを享受できるが、8人目のユーザが参加した時に、そのユーザに割り当てられる帯域幅は15Mbpsであり、今までのユーザとは異なり良好なスコアとなるため、ユーザ間の不公平が生じている。スイッチは、既存のユーザが現在の各使用帯域を低減させれば、より多くのユーザをサポート可能である。

【0118】一方、プライシング方法は、図24に示すように、スイッチ毎に10人のユーザをサポートする。図10は、図8と同様、スイッチ0の帯域幅の割り当てとユーザ0～9に割り当てられている帯域幅を示している。ユーザが最初にネットワークに参加するとき、各ユーザは所望の帯域幅（20Mbps）を使用する。

【0119】図11は、図9と同様、QoSスコア毎のユーザ数を示している。スイッチ0では、参加した7人目のユーザ（ユーザ6）が価格を増大させ、そのユーザが参加したときに、現在そのスイッチを使用している他のユーザに使用帯域の変更を強いる。このことは、図11において、ユーザ数が7になったときに、全てのユーザが良好なスコアに変化していることから明らかであ

る。これは、10人目のユーザ（ユーザ9）がネットワークに参加するまで続けられる。

【0120】次に、価格が平衡価格に達し、残っているユーザ（ユーザ10以降）は彼らのセッションを開始する余裕がない。これは、公平なPareto-optimal割り当てを提供する。即ち、図10に示すように、各ユーザには、ほぼ同じ帯域幅が割り当てられ、図11に示すように、同じQoSスコアを有する。これは、全てのユーザが同じ購買力を有することで期待されることである。他のスイッチも同様に動作する。プライシング技法は、CAC技法の56人と比べて70人のユーザをネットワーク内で利用可能にし、実に25%の増加を図っている。

【0121】次に、VBRの結果について説明する。これらの実験に関して、各送信元は3つのMPEG圧縮されたトレースのうち1つを使用している。トレースに関する統計は図25に示されており、それらの期間は約20分である。VBR送信元に関しては、単一の平衡価格が存在することはない。これは、時の経過に伴う送信元の変更要求のためである。しかし、ある時間において、こうした1つの価格が存在し、プライシング・ルールが常に現在価格をその価格に対し調整する。

【0122】図26に、プライシング方法と従来のCACの結果が示されている。また、図12は、CACを用いたVBR送信元のスイッチ0における帯域幅の割り当てを示している。図13は、CACを用いたVBR送信元のスイッチ0におけるQoSスコア毎のユーザ数を示している。

【0123】一方、図14は、本発明のプライシング方法を用いたVBR送信元のスイッチ0における帯域幅の割り当てを示している。図15は、本発明のプライシング方法を用いたVBR送信元のスイッチ0におけるQoSスコア毎のユーザ数を示している。

【0124】図26から解るように、CACとプライシング方法は、結果的に同様の使用率とGob比率を達成している。しかし、図14と図15を較べると、図15に示す本発明のプライシング方法による場合には、極めて良好なスコアの提供を受けるユーザの数が、ほぼ12（ユーザ全員）に保たれ、12を下回る場合はほんの一瞬间に過ぎず、一方、CACを用いた方法の場合は、極めて良好なスコアの提供を受けるユーザの数が頻繁に12を下回っていることがわかる。

【0125】また、CAC方法で提供されるQoS値は、2.2から5の間である。これは、信号送信による遅延の結果である。ここで、ユーザがより多くの帯域幅を必要とする場合を考える。ユーザは、新しい速度を送信する前に、伝播遅延を2回待たなくてはならない（この速度が利用可能なものであれば）。

【0126】この遅延の間に、ユーザは現在割り当てられている速度でしか送信ができず、結果的に非常に低いQoS値（2.2という場合もある）となる。このこと

は、送信元がより長い経路のものである場合、特に当てはまる。結果として、ユーザのQoSに、よりばらつきが見られるものとなる。

【0127】プライシング技法は、ユーザがすぐに新しい速度で送信できるため、信号送信による遅延を被ることはない。これは、図14及び図15を比較すると解る。極めて良好というスコアの数値は、全体の割り当てが90%に達した場合にのみ減少する(α を90%に設定していることを思い出してほしい)。この時点で、価格は上昇し、ユーザはその使用を調整しなければならない。

【0128】CAC技法から観察されるQoSは、プライシングに対して強力な利点を示している。プライシングは、信号送信とそれに関連する遅延を排除することによって、QoSが不安定になるのを避ける。ユーザは、その価格と自己の予算に基づいて使用を試行錯誤的に調整する。

【0129】次に、対話型VBRに関する結果に関連して説明を行う。この実験では、単一のスイッチと複数の対話型ビデオがシミュレートされた。スイッチの容量は155Mbpsで、ユーザとのリンクは25Kmである。各送信元は、図25に示される3つのMPEG圧縮されたビデオのうち1つである。対話の内容には、フレーム速度及び/またはビデオの解像度の変更が含まれる。フレーム速度は、30、20、または10fpsである。解像度は480×640または240×320である。フレーム速度と解像度は、ビデオの所定の期間について一様に変更される。送信元は、1秒のインターバルでセッションを開始する。

【0130】対話型ビデオの結果が、図16(32の対話型VBR送信元を有するCACの割り当てグラフ)、図17(32の対話型VBR送信元を有するCACのQoSスコアグラフ)、図18(32の対話型VBR送信元を有するプライシング方法の割り当てグラフ)、図19(32の対話型VBR送信元を有するプライシング方法のQoSスコアグラフ)とともに図27に示されている。図27に示されるように、双方の方法は32個の送信元をサポートできる。

【0131】図17及び図19に示すQoSスコアグラフを比較して分かるように、CAC技法は、ここでも信号送信による遅延を被る。従って、CAC技法は、極めて良好なQoSスコアを32ユーザ全てに提供することはない。一方、本発明のプライシング方法は、図19に示すように、極めて良好なQoSスコアをより多く提供することができ、多くの期間、32ユーザ全てにそのスコアを提供している。本発明のプライシング方法では、割り当てられた帯域幅の合計が最大割り当て容量の90%に達すると価格が上昇して、ユーザの使用を抑制し、割り当てられた帯域幅の合計が最大割り当て容量の90%に満たない場合は、価格が低く設定され、それによ

てユーザの使用が喚起され、または所望の帯域幅を割り当てることができる。

【0132】本発明は、ミクロ経済学に基づく、分散されたフロー制御方法を含んでいる。コンピュータ・ネットワークはユーザ、ネットワーク・ブローカ(NB)、及びスイッチの3つの部分を含む経済活動にたとえることができる。このシステムでは、ユーザがそのネットワーク資源の使用状況に応じて課金される。ネットワーク・ブローカはユーザのエージェントとして機能し、価格を収集してユーザの使用を最大化する使用レベルを判定する。新しい容量が判定されると、その値はすぐに使用される(信号送信は必要でない)。スイッチは後に使用される資源を含み、ローカルの需要と供給を反映させるように価格設定される。需要が高まると価格が上昇し、需要が低下すれば価格も下がる。需要と供給が一致した場合に、平衡価格に達する。このことは、資源の利用を喚起する。そして、これらの価格はスイッチにより周期的にNBに送信される。

【0133】プライシングがWalrasian平衡に達すると、この時点で、需要と供給は等しく、価格は安定する。所定の閾値(好適実施例においては10%の変化)を越える需要の変化がある場合、価格は平衡に戻るよう調整される。公平なPareto-optimalの使用が提供される。これによってユーザは、その予算に応じて公平な持ち分を使用することになる。この技法は分散化され、様々なネットワークに対して適用可能である。

【0134】実験から、本発明は多くのユーザの間でも高い資源使用率を達成できることが証明された。従来のCAC技法と比較すると、本発明のネットワークフロー制御は、信号送信のオーバーヘッド及び待ち時間を生じることなく、より公平な配分を提供できる。

【0135】好適実施例によるプライシング方法は、高い資源使用率を喚起する。この手法が公平な資源配分と高いQoS値を提供することを示している。

【0136】前述した全ての実施態様における本発明は、特定のフロー制御方法によって動作するコンピュータ・ネットワーク、その方法によって動作するコンピュータ・ネットワークのノード、コンピュータ・ネットワークまたはコンピュータ・ネットワークのノードをその方法によって動作するようにするコンピュータ・プログラム製品、及びコンピュータ・ネットワークに関するフロー制御の方法それ自体として表される。

【0137】実際のレベルでは、コンピュータ・システムにおいて本発明のネットワーク・フロー制御方法を実現するソフトウェアが様々な種類の媒体の1つによって提供される。更に、本発明による方法の実際の実装は、実際にプログラミング言語で記述されたステートメントである。こうしたプログラミング言語によるステートメントは、コンピュータによって実行されると、そのステートメントの特定の内容に従ってコンピュータを動作さ

せる。更に、本発明に従ってコンピュータ・システムを動作させるソフトウェアは、例えば、元のソース・コード、アセンブリ・コード、オブジェクト・コード、機械語、圧縮または暗号化された様々な前記コード、及びその他全ての均等物を含む種々の形式のうち、いくつかで提供される。

【0138】当業者には、ここで用いられる「媒体」または「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」に、ディスク、テープ、コンパクト・ディスク、集積回路、カートリッジ、通信網を介したりリモート転送、またはコンピュータによって使用可能なその他の同様な媒体を含むことが明らかである。例えば、コンピュータ・システムを本発明に従ってノード、ネットワーク・ブローカ、スイッチ、またはユーザとして動作させるソフトウェアを提供するために、ディスクを配布したり、衛星通信、電話回線、またはインターネットを介したいくつかの形式でそのソフトウェアを送信することもできる。

【0139】ソフトウェアはディスクに「書き込み」、集積回路に「記憶し」、通信網を介して「送信する」ことができるが、本発明のアプリケーションのために、コンピュータが使用できる媒体を、ソフトウェアを「伝達する(bearing)」手段と呼ぶ。従って、「伝達する」という用語は、前述の全て、及びソフトウェアをコンピュータが使用可能な媒体に関連づける同等な方法を包含することを意図する。

【0140】従って、簡略化のために、コンピュータが使用可能な媒体を指すのに「プログラム製品」が使用される。これは、前述で定義したように、コンピュータ・システムに本発明の方法による動作をさせるためにソフトウェアを任意の形式で伝達するものである。

【0141】従って、本発明はまた、本発明による動作をコンピュータに実行させるソフトウェアを伝達するプログラム製品において実現される。

【0142】本発明は、前述した実施例に関するものだけに限定されるものではなく、特許請求の範囲に従ういずれかの及び全ての均等物に関する。

【0143】

【発明の効果】本発明によるマイクロ経済学的フロー制御を使用することによって、ネットワーク間で資源を共用する多くのユーザの間で、高い資源使用率を達成できる。従来のCAC技法と比較しても、本発明のネットワークフロー制御は、信号送信のオーバーヘッド及び待ち時間を生じることなく、より公平な配分を提供できる。

【0144】また、本発明の好適実施例によるプライシング方法は、高い資源使用率を喚起することができ、結果的に公平な資源配分と高いQoSスコアを提供する。

【図面の簡単な説明】

【図1】ユーザ、ネットワーク・ブローカ、及びスイッチを含むネットワークの例を示す図である。

【図2】アプリケーション・イベントと価格イベントの

例を示す図である。

【図3】供給、需要、及び過剰需要の関係を表す曲線を示す図である。

【図4】供給、需要、及び過剰需要の関係を表す曲線を示す図である。

【図5】異なるcの値を使用して時間毎の価格の変化を示す図である。

【図6】各実験で使用されたQoSプロファイルを示す図である。

【図7】CBR及びVBRに関して使用されるネットワークを示す図である。

【図8】CACの技法を用いたCBR送信元におけるスイッチ0の割り当てのグラフを示す図である。

【図9】CACの技法を用いたCBR送信元におけるスイッチ0のQoSスコア・グラフを示す図である。

【図10】プライシング技法を用いたCBR送信元におけるスイッチ0の割り当てのグラフを示す図である。

【図11】プライシング技法を用いたCBR送信元におけるスイッチ0のQoSスコア・グラフを示す図である。

【図12】CACの技法を用いたVBR送信元におけるスイッチ0の割り当てのグラフを示す図である。

【図13】CACの技法を用いたVBR送信元におけるスイッチ0のQoSスコア・グラフを示す図である。

【図14】プライシング技法を用いたVBR送信元におけるスイッチ0の割り当てのグラフを示す図である。

【図15】プライシング技法を用いたVBR送信元におけるスイッチ0のQoSスコア・グラフを示す図である。

【図16】CACの技法を用いた32の対話型VBR送信元における割り当てグラフを示す図である。

【図17】CACの技法を用いた32の対話型VBR送信元におけるQoSスコア・グラフを示す図である。

【図18】プライシング技法を用いた32の対話型VBR送信元における割り当てのグラフを示す図である。

【図19】プライシング技法を用いた32の対話型VBR送信元におけるQoSスコア・グラフを示す図である。

【図20】本発明の一実施形態によるスイッチを示す図である。

【図21】本発明の一実施形態によるネットワーク・ブローカを示す図である。

【図22】本発明の一実施形態を説明するために使用されるQoSプロファイルを示す図である。

【図23】アプリケーション毎に値Bの範囲を示す図である。

【図24】CBR送信元に関して、プライシング方法と従来のCACを用いた結果を示す図である。

【図25】MPEGビデオのトレースに関する統計を示す図である。

【図26】VBR送信元に関して、プライシング方法と従来のCACを用いた結果を示す図である。

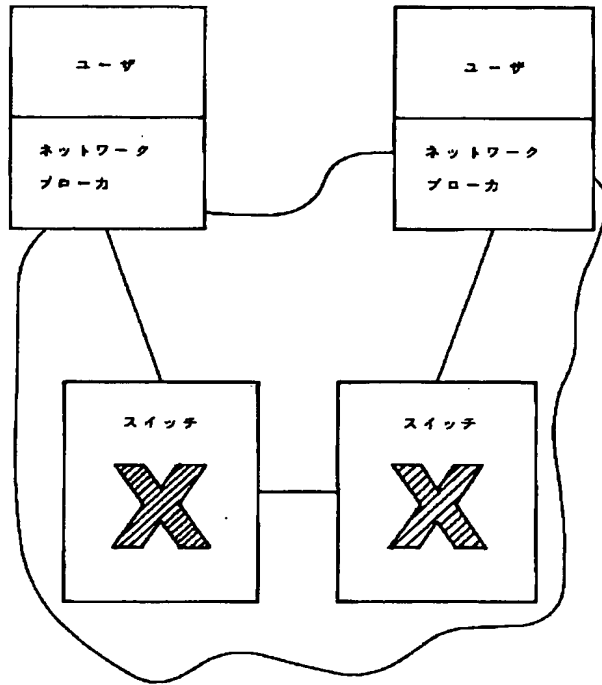
【図27】対話型VBR送信元に関して、プライシング方法と従来のCACを用いた結果を示す図である。

【図28】本発明の一実施形態における処理を示すフローチャートである。

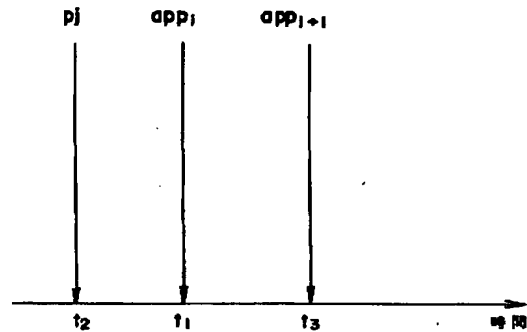
【符号の説明】

- 10, 50 ネットワーク・インタフェース
20 制御システム
30 帯域幅モニタ
40 スイッチング・システム
60 NB制御
70 ユーザ・インタフェース
80 メモリ

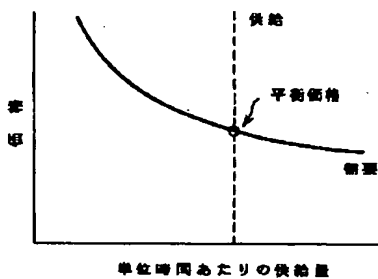
【図1】



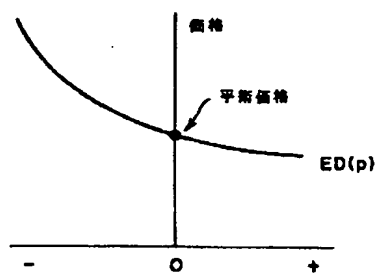
【図2】



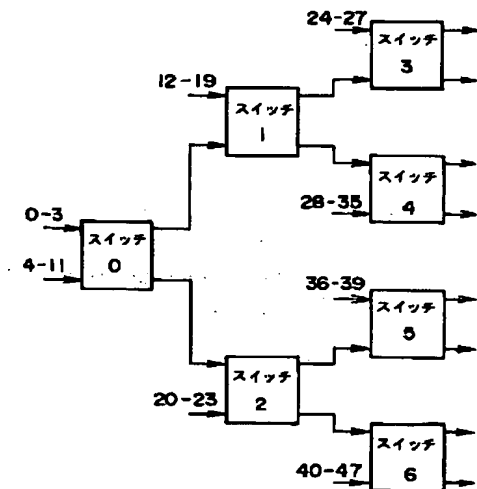
【図3】



【図4】



【図7】



【図23】

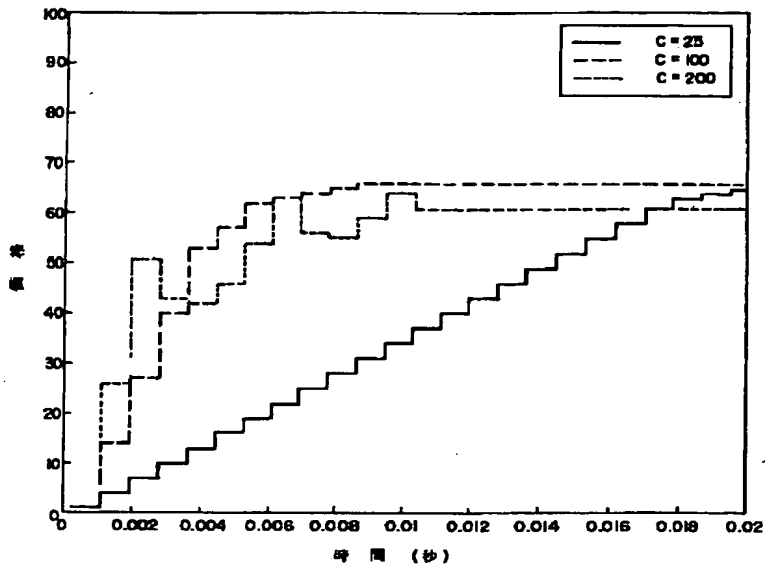
アプリケーション	B の範囲
電子会議	0.2-0.6
Vo D	0.5-0.7
Mo D	0.3-0.8

【図25】

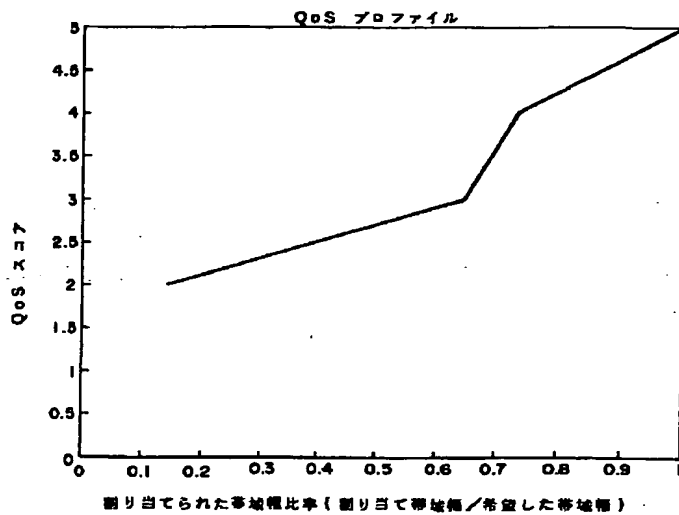
名 称	平均速度 (Mbps)	最低速度 (Mbps)	ピーク速度 (Mbps)
Video 1	6.78	1.49	25.3
Video 2	5.98	1.76	17.8
Video 3	4.13	1.48	17.3

ビデオのフレーム速度 = 30 fps

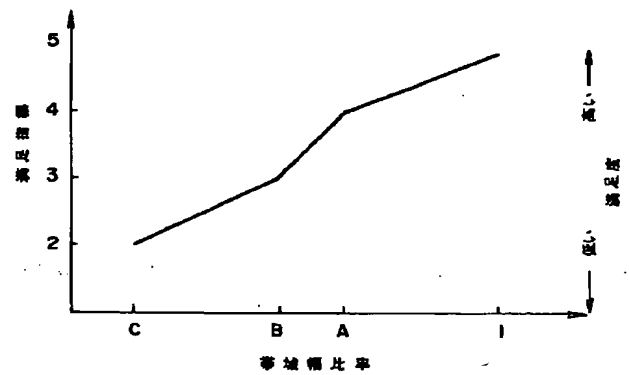
【図5】



【図6】



【図22】

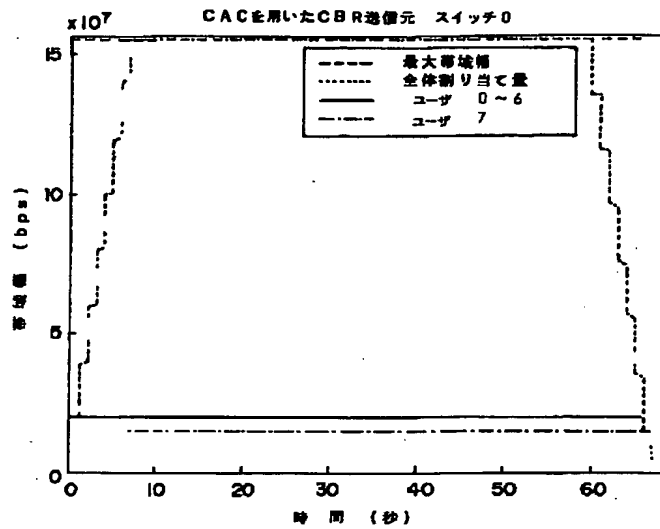


【図24】

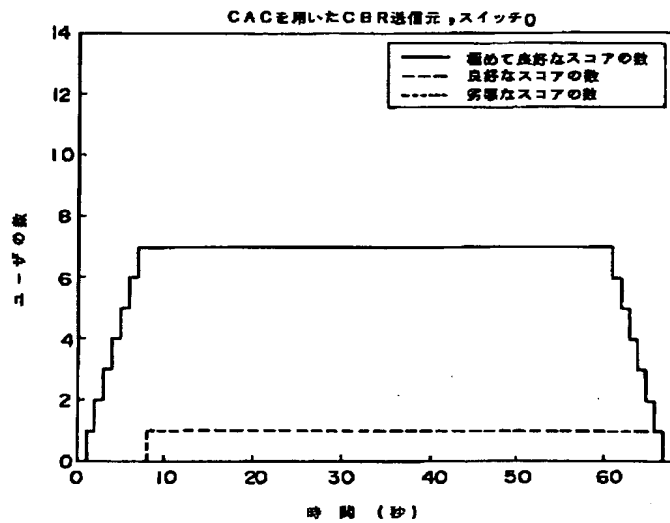
スイッチ	CAC (ピーク時)		プライシング方法	
	送信元の数	使用率	送信元の数	使用率
0	8	90	10	79
1	8	80	10	70
2	8	72	10	65
3	8	69	10	63
4	8	66	10	64
5	8	60	10	60
6	8	59	10	56

全ユーザはQoSの100%を提供されている

【図8】



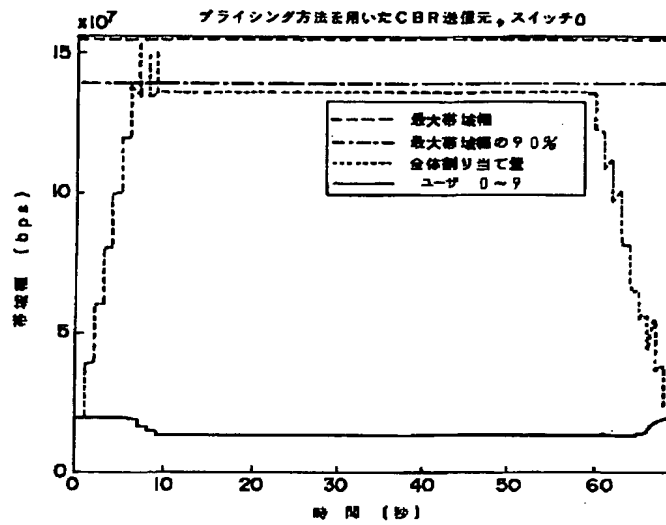
【図9】



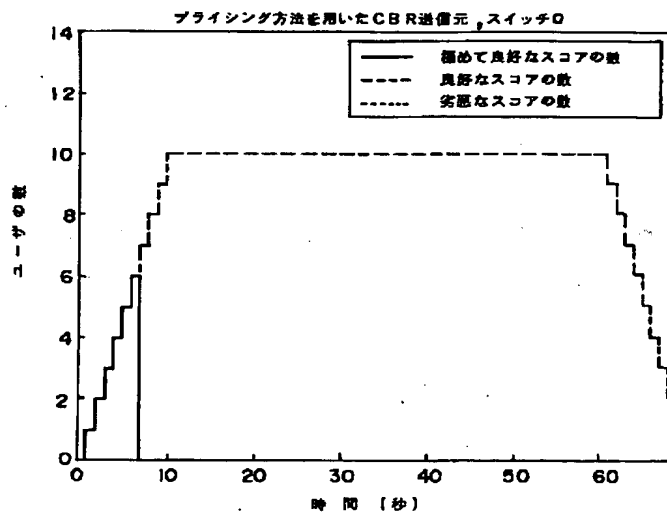
【図26】

スイッチ	CAC（ピーク時）			プライシング方法		
	送信元の数	使用率	%GoB	送信元の数	使用率	%GoB
0	12	70	99.97	12	70	99.96
1	12	73	99.98	12	73	99.89
2	12	67	99.98	12	67	99.99
3	12	72	99.94	12	72	99.87
4	12	69	99.99	12	70	99.98
5	12	69	99.98	12	70	99.99
6	12	65	99.99	12	66	100.0

【図 10】



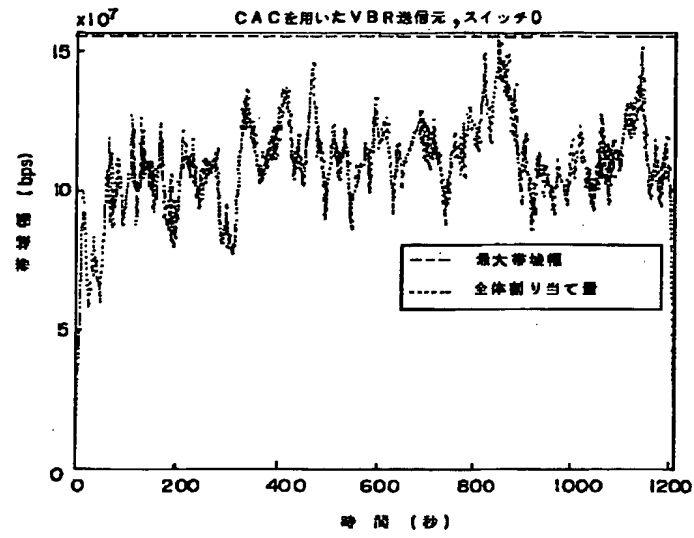
【図 11】



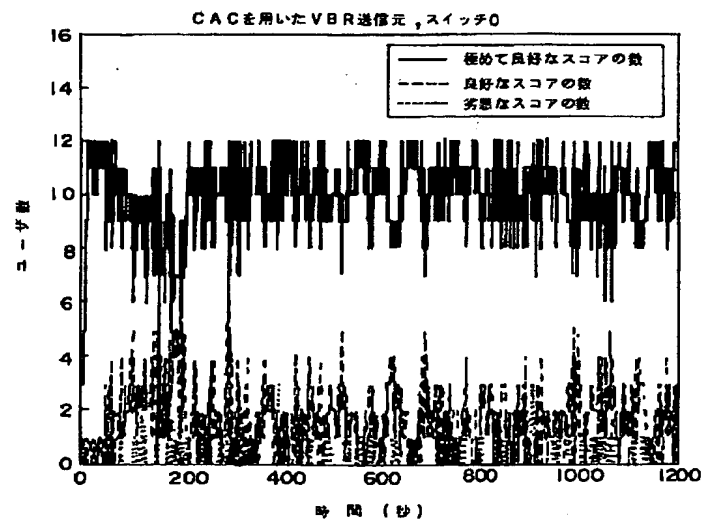
【図 27】

CAC (ピーク時)			プライシング方法		
送信元の数	使用率	% GoB	送信元の数	使用率	% GoB
32	87	97.35	32	84	96.50

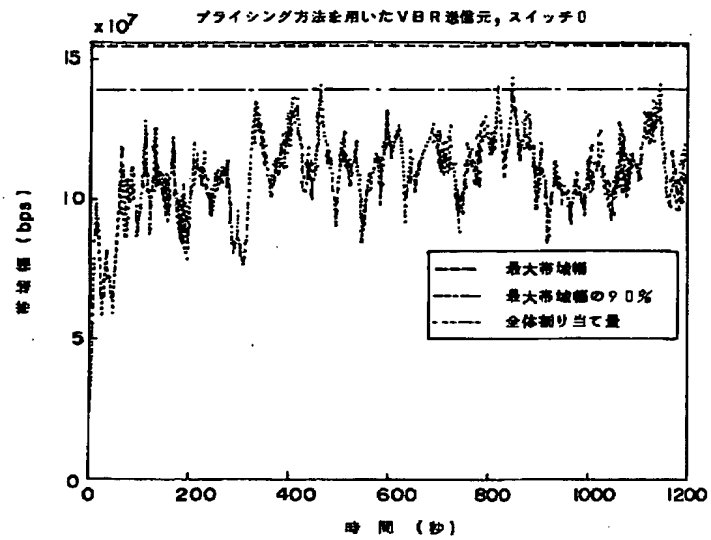
【図 12】



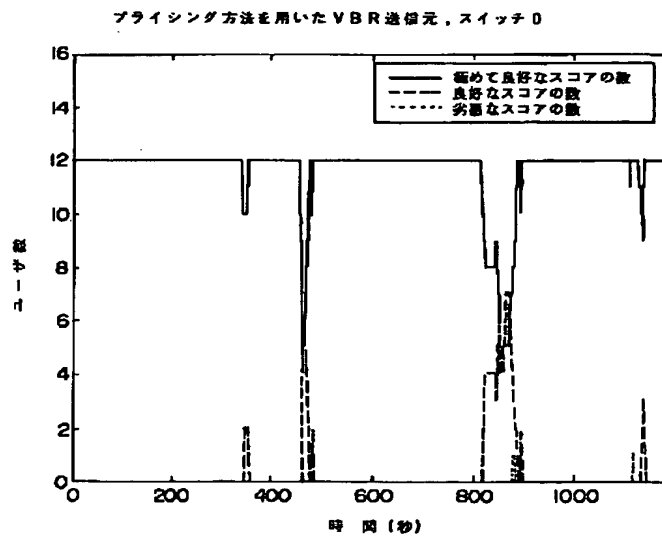
【図 13】



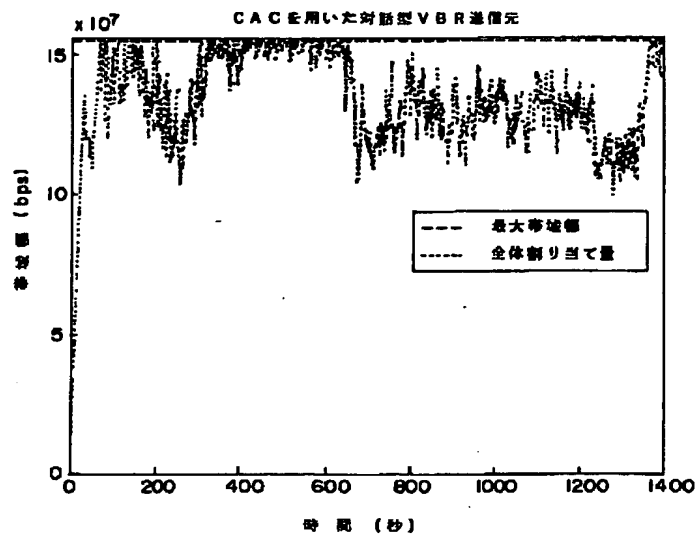
【図14】



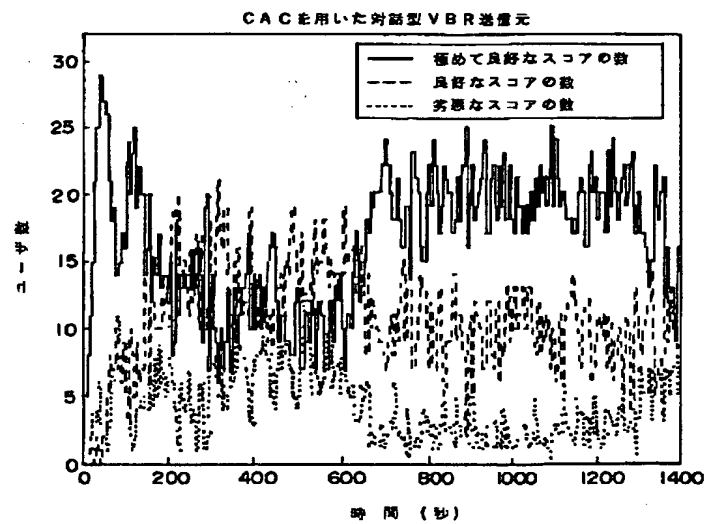
【図15】



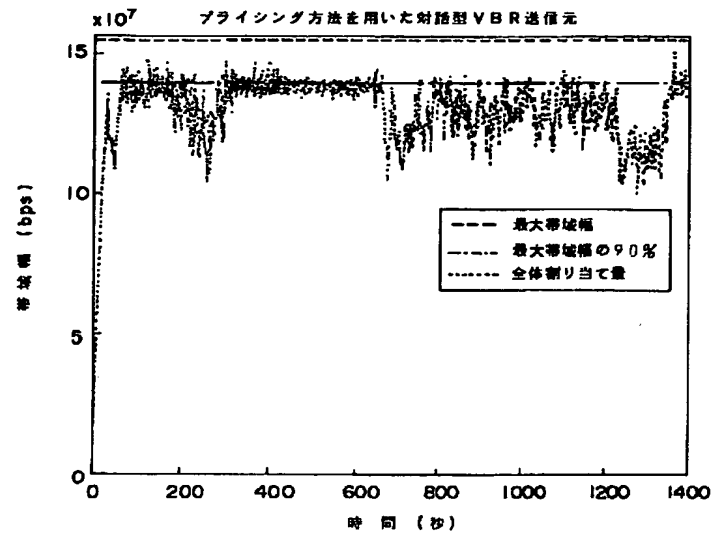
【図16】



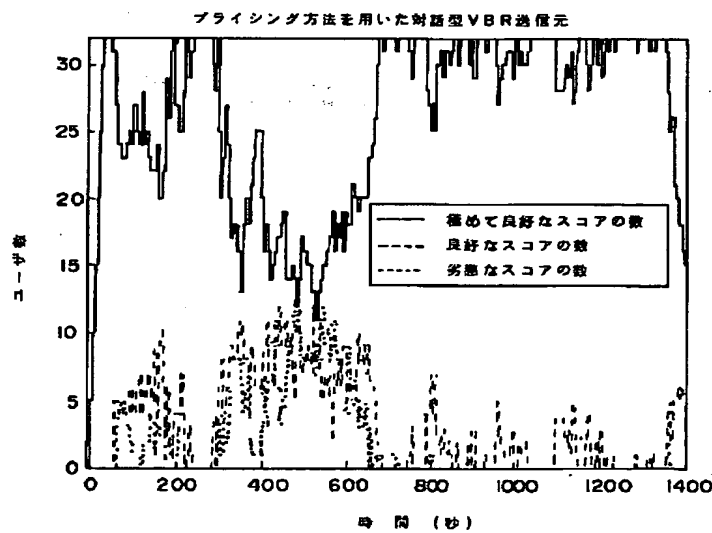
【図17】



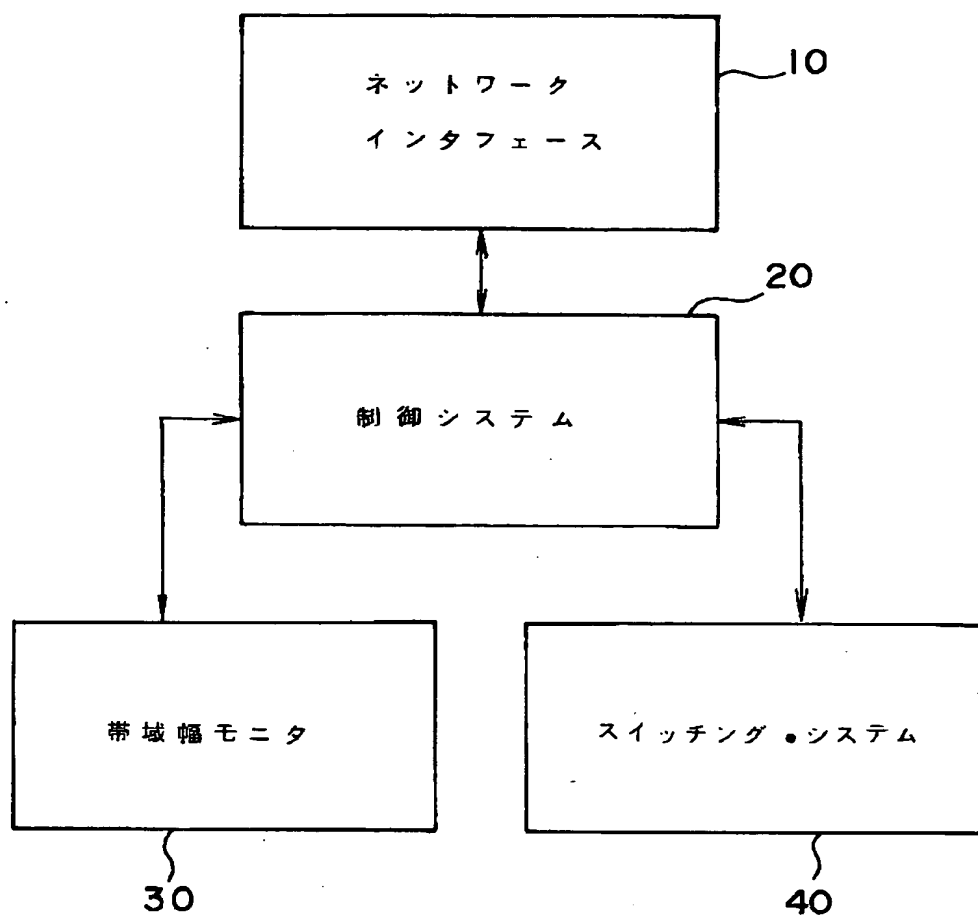
【図18】



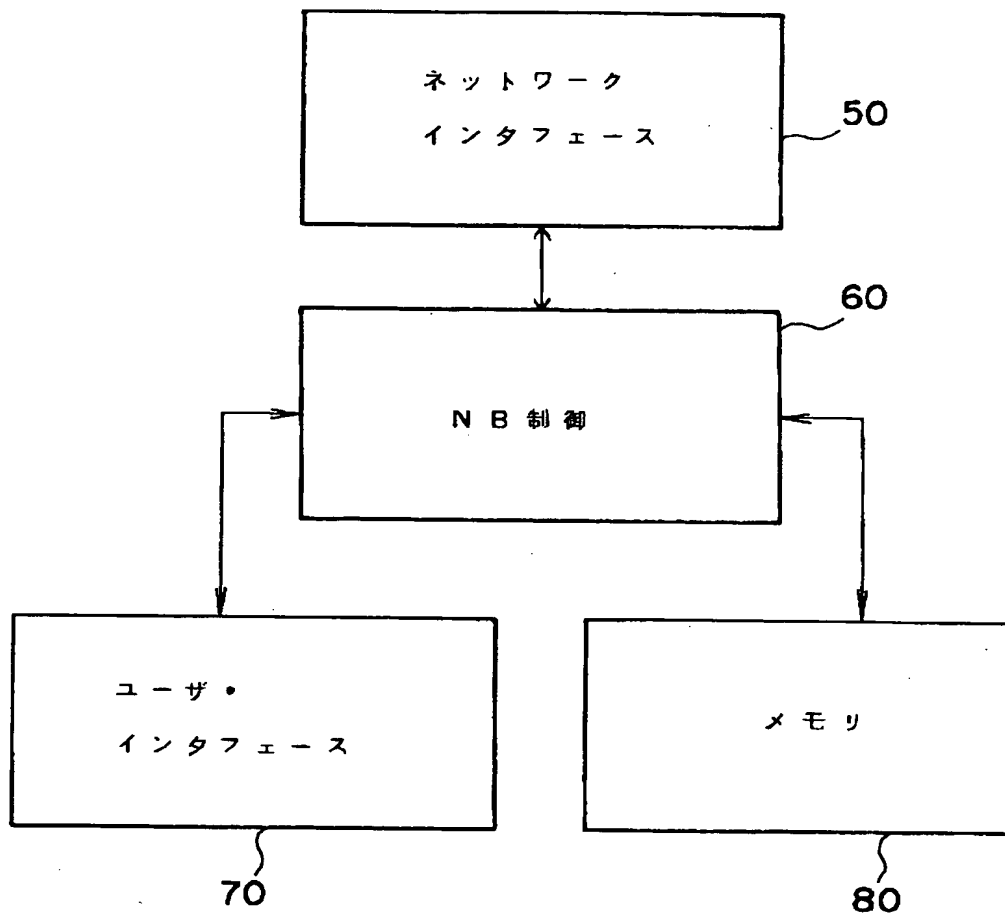
【図19】



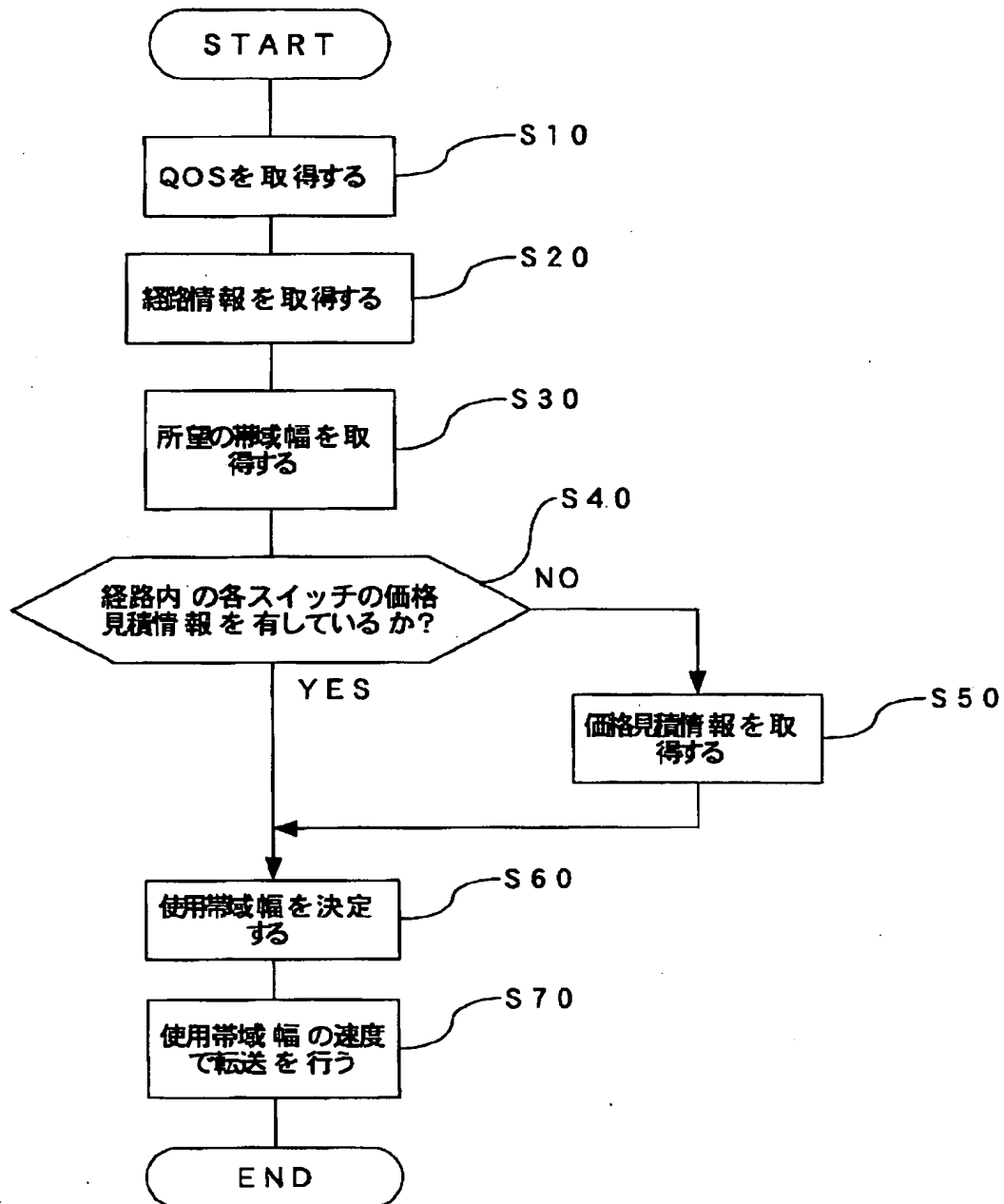
【図 20】



【図21】



【図28】



フロントページの続き

(72)発明者 ダニエル レイニンジャー
アメリカ合衆国、ニュージャージー
08540、プリンストン、4 インディペン
デンス ウエイ、エヌ・イー・シー・ユ
ー・エス・エー・インク内

(72)発明者 エリン フルブ
アメリカ合衆国、ニュージャージー
08540、プリンストン、4 インディペン
デンス ウエイ、エヌ・イー・シー・ユ
ー・エス・エー・インク内